سلسلة : البيئة و التلوث
عدد (٦)

تلوث الماء الجوفى

دكتور
السيد أحمد الخطيب
Ph . D. University of W. Virginia (USA)
أستاذ علوم الأراضي و المياة – كلية الزراعة – جامعة الإسكندرية
و الحائز على
جائزة الدولة التشجيعية فى العلوم الزراعية عام ١٩٩٣
و نوط الامتياز من الطبقة الأولى

٢٠٠٤

المكتبة المصرية
للطباعة والنشر والتوزيع
٣ ش أحمد ذو الفقار – لوران الإسكندرية
تليفاكس ٠٠٢/٠٣/٥٨٤٠٢٩٨
محمول ٠١٢٤٦٨٦٠٤٩

بسم الله الرحمن الرحيم



مقدمة

التلوث البيئي يمثل أحد المشكلات الهامة التي تواجه البشرية في عصرنا الحاضر نتيجة للنشاط الإنساني المتزايد في كافه مجالات الحياة . ولأن التلوث البيئي له أبعاد خطيرة على صحة الإنسان فإن قضيه التلوث أصبحت تمثل أولوية من أولويات العصر وستظل من أهم الموضوعات التي تشغل فكر العالم في القرن الواحد والعشرون .

ولكي تستعرض معا سلم تصاعد المشاكل البيئية والتلوث فأننا محتاجون بداية إلى توضيح الإطار الذي تنشا فيه هذه المشاكل على مختلف المستويات البيئية وبتعبير أدق على المحيط الحيوي مائة وهواؤه وأرضه . ولقد عرف العالم الروسى فرنادسكى vernadsky المحيط الحيوي بأنه ذلك الحيز على كوكب الأرض الذي توجد فيه الحياة بمختلف أنواعها بصورة طبيعية ويشمل الطبقات السفلي من الغلاف الجوى وسطح الأرض من أعلى إلى أسفل وما يشتمله من جبال وسهول ووديان وتحت سطح الأرض والمحيط المائي بأنهاره وبحيراته وبحارة ومحيطاته فالمحيط الحيوي إذن هو مصدر كل المدخلات التي نحتاج إليها والمصب التي تنتهي إليها كل المخرجات الناجمة عن العمل على تدبير احتياجاتنا . ويحتوى المحيط الحيوي على وحدات كل وحدة تمثل نظام بيئى يحتوى على الكائنات الحيه وعناصر غير حيه والطاقة . يجمع بين هذه العناصر جميعا عمليات بيئية وحيوية تنظم العلاقات فيها وتستوفى الترابط بينها في إطار التوازن الذي يحفظ للنظام البيئي صحته . ويمكن للنظام البيئي أن يستوعب كميات معينة من المخلفات دون أن يتدهور حالة لذلك علينا عدم تجاوز قدرة النظام البيئي على هضم المخلفات التي نقذف بها فيه حتى لا يتلوث تلوثاً يضر بالإنسان والحيوان على حد سواء.

نص ميثاق اليونسكو الذي صنع في أعقاب الحرب العالمية الثانية بأن " الحرب تبدأ في عقول الناس" وبالتبعية وبالقدر نفسة فإن الحرص على سلامة البيئة والوعى بمقتضيات هذه السلامة يبدآن في عقول الناس . لذلك فإن رفع المستوى التعليمي والثقافي وتنمية الوعي البيئي للأفراد هي مسئوليه جماعية يتطلب الاقتناع التام بمسئولية الأفراد تجاه البيئة وحرصهم على سلامتها وصحتها .

وواقع مشكلة التلوث البيئي – كما نراها – يتمثل في أن قسما كبيراً من سكان الدول النامية لا يزال بعيداً كل البعد عن قضايا البيئة وللأسف الشديد فإن هذا القسم يشمل الأفراد الذين يسيئون إلى البيئة في جزيئات حياتهم اليومية وكذلك المسئولون اللامبالين بمراعاة الاعتبارات البيئية في أعمال الأجهزة والمؤسسات التي يرعونها .

من أجل ذلك أيها القارئ الكريم فلقد قام الكاتب بإصدار سلسلة " البيئة والتلوث" بهدف تنمية الوعي البيئي لدى الأفراد في مجتمعنا واجتذاب القراء للتعاطف والاهتمام بقضايا البيئة والمشاركة في الحفاظ عليها وأيضاً سحب الأفراد من مساحة اللامبالين بالبيئة إلى جيش الداعين إلى صوبها .

ويتناول الكتاب الثالث في هذه السلسلة المعلومات الهامة عن تلوث الماء الجوفي ويشتمل على خمسة فصول يتناول الفصل الأول منها أهمية الماء الجوفي وتدويرة كجزء من الدورة الهيدرولوجية أما الفصل الثاني فيتناول الموارد المائية الجوفية في المنطقة العربية ونوعيتها مع إعطاء أمثله عن تلوث المياه الجوفية في بعض البلدان العربية ويتناول الفصل الثالثالمصادر المباشرة وغير المباشرة لتلوث الماء الجوفي أما الفصل الرابع فأقتصر على التعرض إلى الممارسات الزراعية المثلى لإدارة النيتروجين والخطوات الواجب مراعاتها عند التسميد النيتروجينى لحماية الماء الجوفي من التلوث كما اشتمل

الفصل الخامس تقنيات معالجة تلوث الماء الجوفي .

أسال الله أن يتحقق الهدف المنشود من تأليف هذا الكتاب وأن يجد منه القراء على اختلاف اهتماماتهم العون والفائدة .

والله ولى التوفيق ،،،

أ.د السيد أحمد الخطيب

الإسكندرية ٢٠٠٤



المحتويات

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

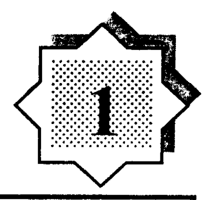


الماء الجوفي

- الماء الجوفى كمصدر للطاقة .
- الماء الجوفى والإمداد العالمى للمياه العذبة .
- الماء الجوفى حلقة الوصل فى الدورة الهيدرلوجية .
- جودة المياه الجوفية .
- التداخل مع مياه البحر







الماء الجوفي

بخلاف المياه السطحية لا يتواجد الماء الجوفي في قنوات وبحار في أماكن محدودة وإنما يتواجد تقريبا في كل مكان تحت الأرض بين الفراغات المسامية في التربة أو بين الشقوق الموجودة في الصخور وعادة ما يتواجد الماء الذي يملأ هذه الفراغات في حدود ١٠٠ متر تحت سطح الأرض . أما في الأعماق الأبعد من ذلك فإن المسامية تكون أقل كثيرا وبالتالي فهي تحتوى كميات أقل كثيرا من الماء .

ويوضح شكل رقم (1-1) أنواع المسامية الرئيسية التي يمكن أن يتواجد بها الماء الجوفى حيث نجد الماء يملأ الفراغات الموجودة بين حبيبات الرمل Intergranular ، أو بين التشققات الموجودة في الصخور النارية أو في الفتحات الموجودة فى الحجر الجيري .

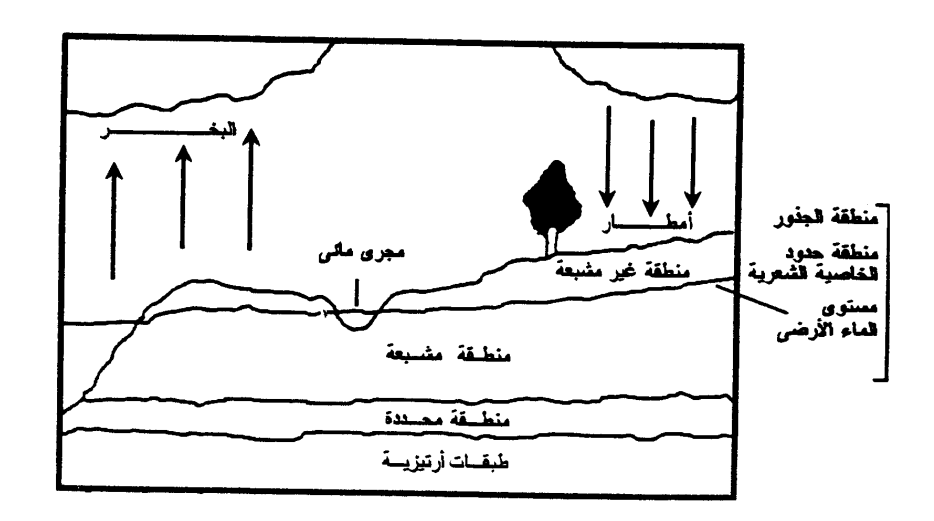


شكل (1-1): أنواع المسامية التي يتواجد فيها الماء الجوفي

سريان الماء الجوفي خلال التكوينات الصخرية الحاملة للماء (aquifers) يكون بطيئا وبمعدلات مختلفة . وأن كان في بعض الأماكن التي يذاب فيها الحجر الجيري بواسطة الماء الجوفي تتكون فتحات واسعه في الحجر الجيري ويكون سريان الماء الجوفي في هذه الحالة سريع نسبيا علما بأن هذا من النادر حدوثه .

يوجد كثير من المصطلحات اللاتي تستخدم لوصف طبيعة وحدود مصادر المياه الجوفية . فالمستوى الذي أسفله يكون ممتلئ بالماء ويطلق عليه مستوى الماء الأرضي water table . ويقع أعلى مستوى الماء الأرضي منطقة غير مشبعة بالماء Unsaturated Zone . أما المنطقة أسفل مستوى الماء الأرض فيطلق عليها المنطقة المشبعة Saturated Zone والماء الموجودة بهذه المنطقة يطلق عليه الماء الجوفي ground water (شكل رقم 1-2) . ويوضح الشكل كيف أن الماء من مصدر مثل الأمطار يصل إلى المنطقة غير المشبعة (الرطوبة الأرضية) والمنطقية المشبعة (الماء الجوفي) .

ويوضح الشكل رقم (1-2) أيضا سريان الماء الجوفي وكيفية وصول المياه الجوفية إلى وتدفقها في البحار والأنهار .



شكل (1-2) : سريان المياه الجوفية .

- **ما هو الـ Aquifer ؟**

يتواجد الماء الجوفي في كل مكان تحت سطح الأرض ولكن بعض الأماكن (المنطقة المشبعة) تحتوى على مياه أكثر من الأماكن الأخرى . ويعرف Aquifer بأنه تكوين تحت سطح الأرض من صخور منفذه أو مواد مفككه لها القدرة على حمل كميات كبيرة من المياه التي يمكن الحصول عليها بحفر الآبار . ويتراوح حجم Aquifer بين صغير (مساحة عدة أفدنه) أو كبير جدا يمتد لآلاف الكيلومترات المربعة ويتراوح سمك هذه الطبقة بين عدة أمتار ومئات الأمتار .

تحتوى التكوينات المنفذة على شقوق وفراغات عديدة متصلة ببعضها مما يسمح بحركة الماء ويتحرك الماء في بعض التكوينات المنفذة عدة أمتار في اليوم بينما في تكوينات أخرى تتحرك فقط عدة سنتيمترات في السنه . وبوجه عام فأن الماء الجوفي يتحرك بسرعة بطيئة خلال الطبقات المنفذة نسبيا مثل الطين والطمي .

يوجد نوعين من التكوينات الأرضية الحاملة للماء Aquifer تبعا لصفاتها الفيزيائية :

١) تكوينات مسامية porous media .

وهى تلك التكوينات التي تتكون من تجمع حبيبات فردية مثل الرمل والحصى ويتواجد الماء الجوفي ويتحرك خلال الفراغات الموجودة بين هذه الحبيبات الفردية . والتكوينات المسامية التي تكون فيها الحبيبات غير متصلة بعضها ببعض فيطلق عليها مفككة unconsolidated أما إذا كانت الحبيبات ملتصقة ببعضها فيطلق عليها consolidated ومثال ذلك الحجر الرملي .

٢) التكوينات غير المنفذة Fractured Aquifer .

وهى عبارة عن صخور ويتحرك الماء الجوفي فيها من خلال الشقوق الموجودة في الصخر الصلب ومثال ذلك الجرانيت والبازلت . ويعتبر الحجر الجيري من التكوينات غير المنفذة ولكن المحلول الحمضي يمكن أن يؤدى إلى زيادة الشقوق الموجودة بها مكونا قنوات كبيرة .

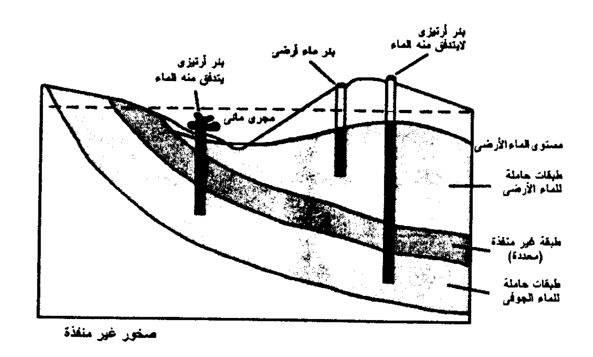
التكوينات الجيولوجية المنفذة مثل الحجر الرملي قد تلتحم الحبيبات فيه بدرجة كبيرة لدرجة انعدام الفراغات بينها وبالتالي تصبح تكوينات غير منفذة ويتحرك الماء فيها من خلال التشققات . وتعتبر التكوينات المسامية المنفذة والمفككة مثل الحصى والرمل هي الهامة لتواجد المياه الجوفية . أما بعض التكوينات المسامية فتكون غير منفذة مثل الطين الذي يحتوى على فراغات كثيرة بين الحبيبات ولكن صغر هذه الفراغات يحدد بدرجة كبيرة حركة الماء الجوفي .

سريان الماء الجوفي عادة يكون في نفس اتجاه الماء الأرضي ويتحرك في اتجاه المجارى المائية والأنهار والبحيرات والمحيطات ويصب فيها . وعلى الرغم من ذلك فإن سريان الماء الجوفي قد لا يتماشى مع نفس سريان المياه السطحية ولذلك نجد أن الماء الأرضي قد يتحرك تحت سطح الأرض في اتجاهات مختلفة عن اتجاه سريان المياه السطحية .

أيضا يمكن تقسيم التكوينات الحاملة للماء Aquifers إلى :

أ) **Unconsolidated Aquifer** .

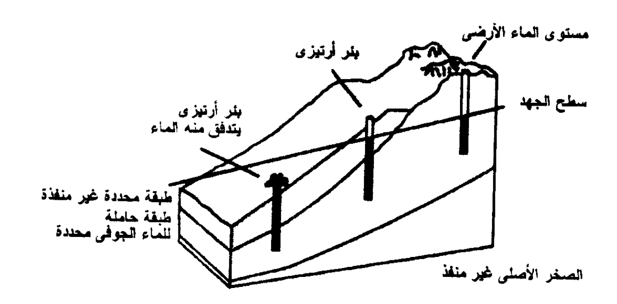
وهى التكوينات المفككة والمجاورة للماء الأرضي ويوضح الشكل (1-3) بئر يستمد ماؤه من هذه التكوينات .



شكل (1-3): الطبقات الحاملة للماء الجوفى

ب) Confined Aquifers .

وهذه يطلق عليها أيضا تكوينات أرتيزيه artesian والبئر الذي يستمد ماءه من هذه التكوينات يطلق عليه بئر أرتيزى artesian well وفى الآبار يرتفع الماء أعلى التكوينات الأرتينريه بفعل الضغط Confining pressure (شكل 1-4) .



شكل (1-4): الآبار الأرتبزية

الخيال العلمى غالبا ما يصور الماء الجوفى على أنه بحيرة موجودة تحت سطح الأرض وهذا غير صحيح فالماء الجوفى يتواجد دائماً فى مسام طبقات التربة أو الصخور بنفس الطريقة التى يتواجد بها الماء فى قطعة من الإسفنج .

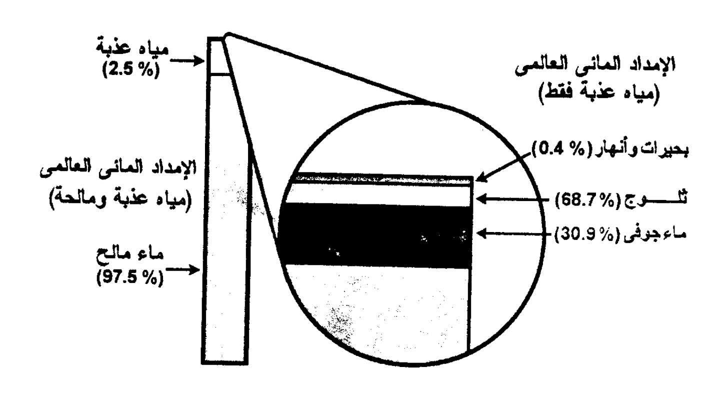
الماء الجوفي كمصدر للطاقة

يمكن استخدام الماء الجوفي كمصدر للحرارة وتحظى مضخات المصدر الحراري الأرضي بكثير من الاهتمام كمصدر طاقة عالي الكفاءة يمكن استخدامه في إقامة نظم التبريد والتدفئة في المنازل . وعلى الرغم من إقامة مثل هذه النظم تكون عالية التكاليف بالمقارنة بنظم التبريد والتدفئة التي تستخدم الهواء إلا أن الكثير يقبل عليها نظرا لكفاءتها العالية .
وكثير من الأبحاث عن استخدام المياه الجوفية كمصدر للطاقة تجرى الآن في الدول المتقدمة ولقد نجحت هذه الدول في تطوير نظام تدفئة أرضية geothermal لأحواض السياحة العامة وأماكن الترفيه . أيضا تستخدم كثير من الجامعات في الولايات المتحدة وكندا الماء الجوفية لتدفئة وتبريد المباني وعلى سبيل المثال جامعة كارلتون في أوتوا بكندا تستخدم هذه النظام لتدفئة وتبريد مباني الجامعة .

الماء الجوفى والإمداد العالمى للمياه العذبة

كما سبق ذكره فأن الإمداد المائي العالمي يتكون من 2.5% ماء عذب ، 97.5% تقريبا ما مالح. والإمداد العالمي للمياه العذبة يتمثل في الأنهار

والبحيرات (٠,٤%) والثلج (٦٨,٧%) في حين أن المياه الجوفية تمثل ٣٠,٩% من المياه العذبة (شكل 1-5) .

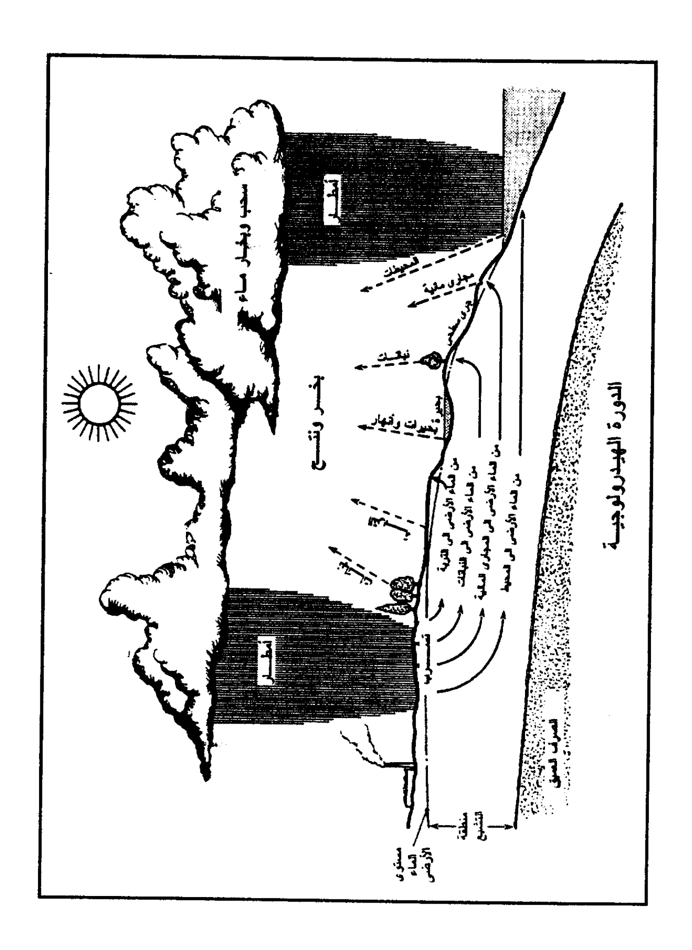


شكل (1-5): الماء الجوفي والإمداد العالمي للمياه العذبة .

الماء الجوفي حلقة الوصل فى الدورة الهيدرولوجية

الماء الجوفي يتم تدويره كجزء من الدورة الهيدرولوجية وكما سبق ذكره فإن الدورة اللا نهائية للماء من الجو إلى الأرض وعودته ثانية إلى الجو من خلال التكثيف والهطول والبخر والنتح يطلق عليها الدورة الهيدرولوجية (شكل 1-6) .

يعتبر تسخين مياه المحيطات بواسطة الشمس هو المفتاح الرئيسي لاستمرار الدورة المائية في حركة مستمرة . فالماء يتبخر ويسقط على صورة أمطار وثلوج أو حبيبات أو رقائق ثلجية أو رذاذ وعندما تكون والأمطار في طريقها إلى الأرض قد يحدث للبعض منها تبخير أو قد تسقط على النباتات قبل أن تصل إلى سطح الأرض وتستمر الدورة بثلاث طرق مختلفة :



شكل (1-6) : (الدورة الهيدرولوجية)

أ) بخر / نتح :

حوالي 40-50% من كميه الهطول يحدث لها بخر أو نتح .

ب) الجريان السطحي :

يتحرك الماء على سطح التربة قريبا من مجارى المياه وكلما كانت التربة منحدرة وكمية المسام في التربة قليلة كلما زاد الجريان السطحي للماء . وغالبا ما يكون الجريان السطحي واضحا في المدن عنها في القرى . وعلى الرغم من أن الدورة المائية تعمل على توازن الماء المتساقط على التربة والماء الصاعد إلى الجو فإن جزء من هذه الدورة يحدث له تجمد في المناطق الباردة خلال فصل الشتاء فعلى سبيل المثال نجد أن أغلب الهطول في فصل الشتاء في كندا يحدث لها تخزين على صورة ثلج على سطح الأرض وعند حلول الربيع تذوب هذه الثلوج مما ينتج عنه كميات هائلة من المياه التي يحدث لها جريان سطحي وأحيانا فيضانات .

ج) التسرب إلى باطن الأرض

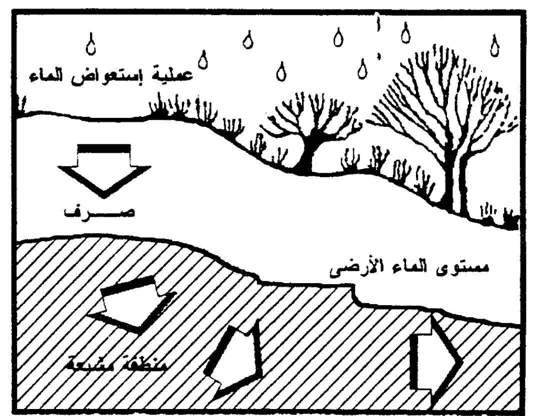
عندما تسقط الأمطار على سطح الأرض جزء من الماء يحدث له جريان سطحي ويذهب إلى البحيرات والأنهار وجزء من ماء المطر ينتقل إلى أسفل خلال مسام التربة ويصل إلى المنطقة المشبعة Saturated وهذه العلمية يطلق عليها recharge شكل (1-7) والأماكن التي يحدث لها تعويض recharge يطلق عليها recharge area . وبمرور الزمن فإن الماء الجوفي يظهر ثانية فوق سطح الأرض وهو ما يطلق عليه discharge وعادة ما ينتهي سريان الماء الجوفي إلى المجارى المائية والأنهار والبحيرات والمحيطات وقد يظهر discharge على شكل عيون أو آبار متدفقة .

يمكن للماء الأرضي أن يساهم بصورة فعالة في المياه السطحية فتدفق المياه فى بعض المجارى المائية في فترات الجفاف قد يكون منشأه الماء

الجوفي . والحقيقة أن طبيعة التكوينات تحت السطحية لها تأثير كبير على حجم الجريان السطحي فمعدل ظهور الماء الجوفي فوق سطح الأرضي هو الذي يحدد حجم الماء المتدفق من المنطقة المشبعة إلى المجارى المائية السطحية . وعلى سبيل المثال فعند سقوط الأمطار فإن حجم المياه المتدفقة إلى المجارى المائية والأنهار تتوقف على كمية الأمطار التي يمكن أن تستوعبها التكوينات الطبيعية aquifers تحت سطح الأرض . فوجود ماء فوق سطح الأرض أكثر من الماء الممكن استيعابية بواسطة التكوينات الطبيعية تحت سطح الأرض هو الذي يؤدى إلى حدوث جريان سطحي إلى البحيرات والأنهار .

ويطلق على الزمن الذي يمضيه الماء على صورة ماء جوفي في الدورة الهيدرولوجية بزمن المكوث Residence time للماء الجوفي ويتراوح من عدة أيام إلى أكثر من 10,000 سنه و بالمقارنة نجد أن الوقت الذي يستغرقه ماء النهر لاستبدال نفسة هو حوالي أسبوعين (جدول 1-1) .

وفى كل الأحوال فإن الماء الجوفي ينتهي عادة إلى المجارى السطحية ويصعد ثانية إلى الجو من خلال البخر والنتح ويصبح جزء من الدورة الهيدرولوجية .



شكل (1-7): سريان الماء الجوفى إلى المجارى المائية وظهورة على شكل عيون

جدول : العمق وزمن المكوث residence time لأشكال الماء المختلفة

مياه على شكل	العمق المكافئ (m)	زمن المكوث
البحار والمحيطات	2500	~ 4000 years
البحيرات	0.25	~ 10 years
المستنقعات	0.007	~ 1- 10 years
الأنهار	0.003	~ 2 weeks
االرطوبة الأرضية	0.13	2 weeks- 1 year
الماء الجوفى	120	2 weeks- 10 000 years
الثلاجات	60	10- 1000 years
بخار الماء	0.025	~ 10 days
ماء البيوسفير	0.001	~ 1 week

*** تم حسابه بافتراض أن التخزين موزع توزيعا متجانسا على سطح الكرة الأرضية.**

جودة المياه الجوفية Ground water quality

غالبا ما نفكر في جودة الماء على أساس الطعم والنقاء والرائحة والصفات الأخرى التي تجعله صالحا للشرب علما بأن بعض الصفات الأخرى قد تكون هامة عند استخدام الماء الجوفي في غرض آخر . فالماء على سبيل المثال يجب ألا يحتوى على أملاح ذائبة يمكن أن تترسب على سطح المعدات والماكينات أو تتسبب فى تآكل هذه المعدات .

الماء الجوفي – مثل الماء السطحي– يحتوى على كائنات حيه دقيقة وغازات ومواد عضوية وغير عضوية . وتتحدد الطبيعة الكيميائية للماء بوجه عام من خلال الدورة الهيدرولوجية فنوع المواد الكيمائية التي توجد فى الماء الجوفي تتوقف جزئيا على كيمياء مياه الأمطار ومياه التغذية recharge . فالأمطار التى تسقط بمحاذاة البحار تحتوى على مستويات عاليه من الصوديوم والكلور يد بينما فى المناطق الصناعية نجد أن انتشار مركبات النيتروجين والكبريت تجعل الأمطار فى هذه المناطق أمطارا حمضية .

والحقيقة المؤكدة أن أهم التغيرات الطبيعية التي تؤثر على كيمياء الماء تحدث فى التربة . فالتربه تحتوى على تركيزات عالية من ثاني أكسيد الكربون التي تذوب في الماء الجوفي مكونه حامض ضعيف قادر على إذابة العديد من المعادن السيليكاتية . ففي رحلة الماء التى يتحرك فيها الماء إلى أسفل سطح التربة recharge ثم يعاود الظهور ثانية كماء سطحي discharge يتم ذوبان بعض المواد وترسيب مواد أخرى خلال هذه الرحلة . ولذلك فجودة الماء الأرضي يتوقف على ظروف الضغط ودرجة الحرارة ونوع الصخور والأتربة التي يمر خلالها الماء الجوفي والمدة التي يمكث فيها في هذه الأماكن

Residence time. وبوجه عام فإن الماء الجوفي يحمل بالطبع الملوثات الذائبة التي تكون في طريقة ويقوم العلماء جودة الماء الجوفي عن طريق التقدير الكمي لمكونات الماء المختلفة والتعبير عنها (مجم /لتر) .

صلاحية الماء لاستخدام معين يتوقف على العديد من الخواص مثل الملوحة ودرجة الحموضة وعسر الماء والقيم المقبولة لهذه الخواص تتوقف على نوع الاستخدام ولذلك فإن معايير جودة المياه السطحية تنطبق أيضا على المياه الجوفية **علما بأن الجودة الطبيعية للماء الجوفي تختلف عن جودة المياه السطحية فيما يلى :**

أ) لا تتغير جودة الماء الجوفي لمصدر واحد معين مع الزمن كثيرا بالمقارنة مع المياه السطحية .

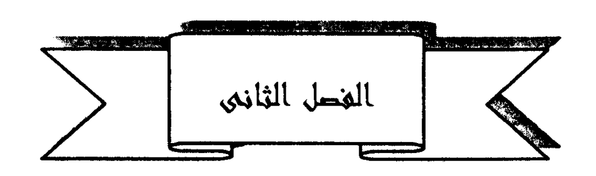
ب) في الطبيعة – مدى الاختلاف في صفات وجودة الماء الجوفي يكون كبيرا جدا من مصدر إلى آخر وذلك بالمقارنة بالمياه السطحية . فعلى سبيل المثال فإن المواد الصلبة الكلية الذائبة تتراوح من 25 mg/L في بعض الأماكن إلى 300,000 mg/L في أماكن أخرى .

ج) يميل الماء الجوفي إلى أن يكون أكثر عسرا من الماء السطحي وبوجه عام فإن ملوحة الماء الجوفي تزداد مع زيادة العمق وهذا لا يمنع من وجود حالات خاصة لا تتبع هذه القاعدة .

د) يحدث ترشيح للماء الجوفي نتيجة لسريانه خلال التكوينات الجيولوجية Aquifers . ونتيجة للترشيح وارتفاع زمن المكوث للماء الجوفي تحت سطح الأرض فإن الماء الجوفي غالبا ما يكون خالي من الكائنات الحية المسببة للأمراض ومع ذلك فوجود مصدر تلوث قريب من الآبار الجوفية يمكن أن يؤدى إلى تلوث الماء بالميكروبات الممرضة . أيضا الترشيح الذي يحدث للماء الجوفي يعنى احتواءه على موا معلقة وغير ذائبة أقل من المياه السطحية .

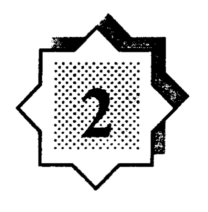
التداخل مع مياه البحر Salt Water Intrusion

تداخل الماء المالح مع الماء الجوفي يعد مشكلة في المناطق الساحلية حيث يكون معدل ضخ المياه الجوفية عالي لدرجة تسبب غزو مياه البحر للتكوينات الجيولوجية الحاملة للمياه العذبة وهذه المشكلة يمكن التغلب عليها بحفر آبار في هذه المنطقة relief wells وذلك لحفظ مياه البحر بعيدا عن المياه الجوفية .



الموارد المائية الجوفية في المنطقة العربية

- مصادر المياه فى بعض البلدان العربية .
- الموارد المائية الجوفية .
- المياه الجوفية المتاحة فى المنطقة العربية .
- نوعية المياه الجوفية .
- أمثلة تلوث المياه الجوفية فى المنطقة العربية .



الموارد المائية الجوفية في المنطقة العربية

تعتبر قضية موارد المياه من القضايا الهامة التي تشغل العالم العربي نظراً لتدهور هذه الموارد وسوء إدارة المصادر الحالية . وهذا يلقى ظلاً أحمر على التنمية المستدامة للمصادر المائية الحالية وتطوير نمط استخدامها .

فالموارد المائية في مصر والعراق وسوريا ولبنان والأردن على سبيل المثال تتكون من مياه سطحية تأتى من الأنهار الرئيسية في هذه البلدان وتقدر بحوالي 150.7 بليون متر مكعب وكذلك مياه جوفية قريبة متجددة تقدر بحوالي ١٨,٧ بليون متر مكعب. أيضاً يوجد مخزن مياه جوفي على عمق بعيد في هذه البلدان . كما تقدر مياه الصرف الزراعي ومياه الصرف الصحي المعالجة التي يعاد استخدامها بحوالي 8.3 بليون متر مكعب كما يتم تحليلة مياه البحر بما يقرب من 2.1 بليون متر مكعب. ويقدر الاستهلاك الكلى في هذه البلدان بحوالي 150.5 بليون متر مكعب شاملاً 30 بليون متر مكعب من المياه الجوفية ويوضح الجدول رقم (2-1) مصادر المياه في هذه البلدان.

جدول رقم (2-1) : مصادر المياه (مليون متر مكعب) فى بعض البلدان العربية

الدولة	مصادر المياه التقليدية				مصادر المياه غير التقليدية			الاستهلاك المائى	نسبة الماء المتاح (%)	الاعتماد على الماء الجوفى (%)
	ماء سطحى	ماء جوفى مستخدم	ماء جوفى مستعاض	المجموع (مليون متر مكعب)	تحليه ماء البحر	إعادة استخدام مياه الصرف	مجموع المصادر غير التقليدية			
البحرين	0.2	258	100	100	75	17.5	192.7	350.7	181	74
مصر	55.500	4850	4100	59600	6.6	4920	64526	65276	101	7.4
العراق	70.370	513	2100	72370	7.4	1500	73877	72390	98	0.71
الأردن	350	486	277	627	2.5	61	690	899	130	54
الكويت	0.1	405	160	160.1	388	30	578	823	142	49
لبنان	2500	240	600	3100	1.7	2	3103	2743	88	9
عمان	918	1644	550	1468	51	23	1542	2636	170	62
قطر	1.4	185	85	215	131	28	245	345	140	54
المملكة العربية السعودية	2.23	14430	3850	86	795	131	7006	17586	251	82
سوريا	16375	3500	5100	6080	2	1447	1447	21324	93	16
الأمارات العربية المتحدة	185	900	130	21475	455	108	878	1648	187	16
الضفة الغربية وغزة	30	200	185	315	0.5	2	217	232	106	54
اليمن	2250	2200	1400	3650	9	52	3711	4511	121	86
المجموع	150709	29811	18537	169246	1925	8321	179492	190766		48

الموارد المائية الجوفية

يعرف حوض المياه الجوفية بأنه "طبقة أو عدة طبقات حاملة للمياه الجوفية تكونت بشكل طبوغرافى أو تركيبي يسمح لها بتخزين حجم معين من المياه كما يسمح لهذه المياه بالحركة بحكم نفاذية الطبقات المكونة للحوض وتتكون الطبقات المائية من نوعين :-

١- طبقات ذات موارد متجددة

ويقصد بها تلك الموارد التي لا ينجم عن استثمارها لفترات طويلة أي هبوط فى منسوب المياه الجوفية بها .

٢- طبقات ذات موارد أحفوريه

وهى التي ينجم عن استثمارها لمعدلات طويلة هبوط في مستوى المياه الجوفية ومثال ذلك الطبقات الواقعة فى إقليم شبة الجزيرة العربية والصحراء الكبرى .

فى البلاد العربية بوجه عام نجد أن المياه الجوفية تمثل مورد هام للمياه لقطاعات الزراعة والمجتمعات الريفية وخاصة فى شبة الجزيرة العربية حيث تعتمد اعتماداً كبيراً على هذه المياه ونورد فيما بلى الموارد المائية الجوفية فى البلدان العربية .

- **مصـــــر**

يوجد بها موارد مائية جوفية في وادي النيل والدلتا ويتراوح سمك الطبقات الحاملة للماء من ١٠٠ - ٣٠٠متر ويبلغ المخزون في **حوض دلتا النيل** حوالي ٣٠٠مليار مت مكعب وتقدر التغذية السنوية له بحوالي 2.6 مليار متر مكعب وتتراوح جودة المياه فيه من 170 جزء في المليون إلى 1700 جزء في المليون .

كما يوجد بمصر أيضاً حوض الصحراء الغربية ويقع بين مصر وليبيا والسودان وتبلغ مساحته 1800 كم مربع ويقدر سمك طبقاته بين 100-800 متر والمخزون المائي به بنحو 6000 مليار متر مكعب ويتغذى بحوالي 1500 مليون متر مكعب وتتميز مياه هذا الحوض بجودة مياهه .

تقدر الموارد الحالية للمياه الجوفية في مصر بحوالي 7.4 مليار متر مكعب منها 2.6 مليار متر مكعب من المياه الجوفية غير المتجددة.

– لبنـــان

يوجد فى لبنان طبقتين رئيسيتين حاملتن للماء الجوفي وهما :

- طبقة الحجر الجيري الجيوراسى ويبلغ سمكها في المتوسط 1200 متر.
- طبقة Cenomanian - Turonian وتتراوح سمكها بين 1000-600 متر .

وتغذية هاتين الطبقتين تقدر بحوالي 2.5 مليار متر مكعب تأتى أساساً من الأمطار كما أن جودة المياه الجوفية تتراوح بين 800-150 جزء في المليون .

– سوريـــــا

تتوافر فيها مجموعة من الطبقات الحاملة للمياه وهى الجير والدولوميت الجوراسى والطبقات البركانية والطبقات اللحقية الرباعية وتغذية هذه الطبقات يأتى أساساً من الأمطار وتقدر بحوالى 5.43 مليار متر مكعب وتتراوح جودة المياه بين 900-175 جزء في المليون . وتبلغ الموارد المائية الجوفية حوالي 5.7 مليار متر مكعب .

– الأردن

والطبقات الحاملة للمياه الجوفية فى الأردن تنحصر في وادى السيرو عمان وتتركب من طبقات حجر جيرى ودولوميت وطباشير وحجر جيري

رملى تقع فوق بعضها البعض وتنتشر فى أغلب أنحاء الأردن ما عدا منطقة صغيرة فى الجنوب أيضاً يوجد طبقات عميقة من الحجر الرملي يطلق عليها تكوينات ديزى Disi formations وهى تمتد حتى المنطقة الجنوبية للمملكة العربية السعودية . وأغلب هذه الطبقات يتم تغذيتها عن طريق الأمطار بحوالي 260 مليون متر مكعب ونوعية المياه الجوفية تتراوح من 500-3500 جزء فى المليون .

- **المملكة العربية السعودية**

أغلب الطبقات الحاملة للماء في السعودية هى :

١- طبقات رسوبية تتكون أساساً من رمل خشن وحصى وطمي وطين ويتراوح سمكها من 10-250 متر وتحتوى على مخزون عالي من المياه ويتم تغذيته بالأمطار .

٢- تكوينات من الحجر الجيري الرملي والكربونات وتوجد في الساك والبتوك ، مينجور وواصيا ، وجيد – الدمام الخبر .

وتوجد كميات كبيرة من المياه الجوفية العميقة تعتبر مصدر مستقل للماء للمنطقة الوسطية والشمالية من المملكة السعودية تتراوح الأملاح الكلية الذائبة للمياه الجوفية بين 400-20.000 جزء فى المليون وتتواجد المياه الجوفية جيدة الصلاحية فقط فى الساك والطابوق ووجيد والدمام .

- **الكـــويت**

تتمثل مصادر المياه الجوفية فى الكويت من الماء المتاح من تكوينات الدبديبا والجار والغار والدمام وأم الراضومة وتنقسم الطبقات الحاملة للماء إلى مجموعتين رئيسيتين :

١) مجموعة الكويت التى تشمل ديبديبا وتتكون من رمل وزلط .

٢) مجموعة الحسا وتتكون من حجر جيري.

وتقدر كمية المياه الجوفية بحوالي 160 مليون متر مكعب وتتراوح جودة المياه بين 400-4000 جزء فى المليون .

- البحريـــــن

الطبقات الحاملة للماء الرئيسية فى البحرين هى نيوجين والدمام وأم الراضومة وتعتبر ام الراضومة والدمام هما المصدران الرئيسين للماء فى البحرين ولكن يعيبها ملوحة مياهها وتنقسم تكوينات الدمام إلى تكوينات الخبر (دولوميت) وتكوينات العلات (حجر جبرى) وكلاهما يحتويان على مياه متوسطة الجودة تستخدم فى الاستهلاك الزراعي والصناعي . أما مياه أم الراضومة فهى ملحية وغير صالحة للاستخدام . ونوعية المياه الجوفية فى تكوينات الدمام تتراوح بين 2000-4000 جزء فى المليون بينما تصل فى أم الراضومة إلى 18.000 جزء فى المليون .

- قطـــــر

الموارد المائية فى قطر تتمثل أساساً في المياه الجوفية حيث تنقسم قطر إلى إقليمين هيدرولوجين منفصلين هما الإقليم الشمالي والإقليم الجنوبي وتقدر تغذية الطبقات الحاملة للمياه الجوفية فى الإقليم الشمالي بنحو 11% من المتوسط السنوي للهطول المطري على قطر ونوعية المياه الجوفية جيدة وتتراوح بين 400-2000 جزء فى المليون ومع ذلك فأغلب المياه فى الطبقات تتراوح بين 2000-6000 جزء فى المليون .

- الإمارات العربية المتحدة

تتمثل أنظمة المياه الجوفية في دولة الإمارات في :

١) الخزان الجوفي الرسوبي الممتد من عمان إلى رأس الخيمة وتقدر كمية المياه المخزونة فيه بنحو 5280 مليون متر مكعب ويبلغ حجم التغذية السنوية 100 مليون متر مكعب ونوعية المياه تتراوح بين 600-2000 جزء فى المليون .

٢) الخزان الكربوناتى العميق وهو امتداد خزان الدمام وأم الرضومة ويحتوى على مياه ملحية .

٣) خزان سهل الباطنة الساحلي وإنتاجية آبار هذا الخزان عالية ولكن لم تدرس بشكل متكامل .

- عمـــــان

النظم الرئيسية للمياه الجوفية فى عمان تنحصر في سهل الباطنية وسهل الباجادا والتكوينات الكربوناتية فى أم راضومة .

وتتكون الطبقات الحاملة للمياه في الباطنية من حصى ورمل خشن ومتوسط بالإضافة إلى طمى وطين . وتتراوح سمك هذه الطبقات من 600-240 متر كما تتراوح نوعية جودة المياه فيها من 800-6000 جزء فى المليون وهى فى ذلك تشبة نوعية المياه فى سهل الباجادا بينما المياه فى تكوين أم الراضومة ذات نوعية سيئة (4000< جزء فى المليون) .

- اليمـــــن

توجد مصادر للمياه الجوفية في اليمن في سهلي تهامة وخليج عدن . وتتراوح سمك الطبقات الحاملة للماء في سهل تهامة من 20-500 متر وتتغذى من مياه الأمطار وجودة المياه فيها تعتبر متوسطة أما سمك الطبقات الحاملة للماء فى سهل خليج عدن فيقدر بحوالي 400 متر .

أيضاً يوجد طبقات حاملة للمياه الجوفية في حضرموت وتتكون من حجر

رملي وكربونات وتقع في شرق الجزيرة العربية والمياه فيها ذات نوعية تتراوح من 440-1000 جزء في المليون .

جدول (2-2): مدى كفاية مصادر المياه المتجددة في بعض البلدان العربية

الدولة	مصادر المياه المتجددة (مليون م٣)			نصيب الفرد السنوي من الماء $(m)^3$			دليل الاستدامة (%)	
	مياه سطحية	جوفية	الكلى	1997	2015	2025	2000	2025
البحرين	0.2	100	100.2	137	131	99	349	608
مصر	55.500	4100	59.600	925	698	658	115	145
العراق	70.970	2000	72370	2963	1832	1359	88	118
الأردن	475	277	752	168	78	70	168	235
الكويت	0.1	160	160.1	89	62	57	500	874
لبنان	2500	600	3.100	995	437	341	53	124
عمان	918	550	1468	613	403	309	103	169
قطر	1.4	85	86	98	70	60	580	943
السعودية	2230	3850	6080	311	182	150	292	398
سوريا	16.375	5100	21475	1438	948	609	80	110
الإمارات	185	130	315	137	103	67	692	1015
الضفة الغربية وغزة	30	185	215	-	[illegible]	-	230	600
اليمن	2250	1400	3650	303	155	114	72	97
المجموع	152335	18.5	169372	-	-	-	-	-

دليل الاستدامة : (استخدام الماء/المصدر المتجدد) %20-10 يعنى إدارة جيدة وأقل من ذلك يعتبر إدارة سيئة .

المصدر: ESCWA/ ENR/2001/12

- ليبيـــــا

تسهم المياه الجوفية بنصيب كبير في الموارد المائية الجوفية في ليبيا حيث أن أغلبها متجدد . ويوجد ستة أنظمة للمياه الجوفية في ليبيا هي سهل الحفارة ، حوض مرزوق والجبل الأخضر ، الحمراء وسرت وغترب سرت

والكفرة والسرير وتبلغ كمية التغذية السنوية لها 4655 مليون متر مكعب يستهلك منها 2207 مليون متر مكعب ولقد ارتفع استهلاك المياه في أحواض تلك الأنظمة ارتفاعا كبيراً وبصفة خاصة في سهل الحفارة وحوض مرزوق والجبل نتيجة للتوسع الزراعي .

- تونـــــس

تتركز الموارد الجوفية في تونس في الشمال والوسط لوجود الأحواض الجوفية المتجددة ذات الامتداد المحدود بينما يتميز الجنوب التونسي بالخزانات الجوفية الممتدة شحيحة التغذية .

- المغـــــرب

توجد في المغرب عدة طبقات حاملة للمياه في منطقة الرين ومنطقة الأطلنطي ومنطقة الغرب الشرقي ومنطقة الصحراء ، ويبلغ مجموع الموارد المتاحة فى هذه الأحواض 5 مليارات متر مكعب/سنة يستغل منها 2.55 مليار متر مكعب سنوياً.

المياه الجوفية المتاحة فى المنطقة العربية

إن مخزون المياه الجوفية المتجددة وغير المتجددة تعتبر من المصادر الرئيسية للمياه في الأردن وسوريا ومصر واليمن ودول مجلس التعاون الخليجي وقطاع غزة وتستخدم حالياً للوفاء باحتياجات السكان والزراعة ولقد بدأت السعودية والأردن والبحرين في استخدام مصادر المياه الجوفية غير المتجددة فيها بينما نجد أن دول قطر ودولة الإمارات العربية المتحدة واليمن تستخدم مصادر المياه الاحفورية التي يزيد عمرها عن 20.000 عام لمقابلة الاحتياجات المائية المتزايدة في قطاع الزراعة ويلاحظ أن استخدام المياه الجوفية في كثير من البلدان العربية قد تعدى حد الأمان الذي يقدر بحوالي

18.5 مليار متر مكعب.

وتعد الزراعة هى المستخدم الرئيسي للمياه في المنطقة العربية ولكن التمدن السريع وارتفاع مستوى المعيشة في البلاد العربية نتج عنه ازدياد الحاجة للماء للأغراض السكانية مما أدى إلى وجود فجوة مائية وعدم اتزان بين الماء المتاح والماء المطلوب للتنمية الاقتصادية والاجتماعية . لذلك فإن التنقيب عن المياه الجوفية سوف يستمر لمقابلة الطلب المتزايد على الماء من جميع القطاعات . ويوضح الجدول رقم (2-3) نسب الاحتياجات المائية لبعض البلدان العربية فى سنة 2000 .

جدول (2-3): نسب الاحتياجات المائية لبعض البلدان العربية فى عام 2000

البلد	الاحتياجات السكانية %	الاحتياجات الصناعية %	الاحتياجات الزراعية %
البحرين	46.8	9.2	44
مصر	4.4	7.8	87.8
العراق	7.4	1.7	90.9
الأردن	31.3	5	63.7
الكويت	63.6	17.8	18.6
لبنان	22	10.6	67.4
عمان	14.2	4.6	81.2
قطر	42.4	4.3	53.3
السعودية	13.3	2.3	84.4
سوريا	7.5	2.8	89.7
الإمارات العربية	34	1.4	64.3
الضفة الغربية وغزة	52.5	3.6	43.9
اليمن	10	1.7	88.3

Source: ESCWA/ENR/2001/12

نوعية المياه الجوفية

تؤثر درجة جودة المياه بدرجة كبيرة على كيفية استخدامها في أغراض الصناعة أو الشرب أو الزراعة . والعوامل الرئيسية التي تؤثر على نوعية وجودة المياه الجوفية تنحصر في نوعية وتركيب الطبقات الحاملة للمياه (جيولوجيا) والهيدرولوجيا (الأمطار والجريان السطحي والحركة خلال القطاع الأرضي والطبقات الحاملة للماء) والتلوث . فالمياه الجوفية في المناطق الرطبة تتميز بجودة مياهها الجوفية نتيجة الأمطار المستمرة التي ينتج عنها تغذية مستمرة للمياه الجوفية بينما تتميز المياه الجوفية في المناطق الجافة بتدني جودتها نتيجة ندرة الأمطار . فمثلاً في البلدان العربية نجد أن الطبقات الحاملة للمياه ذات النوعية الجيدة تتمركز في المناطق التي يكون تساقط الأمطار فيها عالي نسبياً . أيضاً الطبقات العميقة الحاملة للمياه الجوفية ذات النوعية الجيدة قد تعزى إلى التغذية الحالية والقديمة نتيجة تسرب المياه من الأنهار والوديان والجدول رقم (2-4) يوضح أمثلة لنوعية المياه الجوفية فى بعض البلدان العربية.

جدول (2-4): أمثلة لتركيز بعض الأيونات فى عينات من المياه الجوفية

Mg/l						المنطقة
Cl	SO_4	HCO_3	Na	Mg	Cu	
23	23	105	20	12	75	جنوب الأردن
113	49	54	51	23	59	شمال شرق السعودية
54	62	269	51	21	69	وادى المياه–السعودية
226	240	209	161	43	96	المينا – سوريا
75	216	192	113	14	88	الروظيتن – الكويت
138	62	232	103	4	20	الفجيرة –الإمارات العربية

Source: Hobler et al (1991).

أمثلة تلوث المياه الجوفية فى المنطقة العربية

تلوث الماء الجوفي يحدث غالباً فى الطبقات غير العميقة الحاملة للماء والموجودة أسفل الأنهار ومثال ذلك دلتا النيل – جنوب العراق والأردن وحوض دمشق في سوريا وفى هذه الحالات يكون المصدر الرئيسي لتلوث الطبقات الحاملة للمياه في هذه المناطق هو صرف المياه المتخلفه عن الصناعة ومياه الصرف الصحي في الأنهار وذلك نتيجة للتداخل الهيدرولوليكى بين النهر والمياه الجوفية فتطوير مشروعات الري الكبرى وإنشاء المشروعات الصناعية ومشروعات الصرف الصحي على الأنهار الأربع الرئيسية وهى نهر النيل ونهر النيجرز ونهر الفرات ونهر الأردن أدى إلى تدهور جودة المياه في الطبقات الحاملة للمياه والمتداخلة مع هذه الأنهار . كما أن الزراعة المكثفة فى السعودية وعمان والإمارات العربية واليمن وبقية البلدان العربية أدى إلى إرتفاع تركيز النترات ومكونات الأسمدة الأخرى في الأراضي وفى مصادر المياه الجوفية الضحلة . فالأسمدة والمبيدات الغسولية من الحقول المرواه غالبا ما تتواجد في الطبقات الضحلة الحاملة للمياه في شبة الجزيرة العربية ويوضح الجدول رقم (2-5) التعرض الزائد للملوثات في بعض البلدان العربية .

ففي سهل البقاع في لبنان نجد أن الاستخدام المفرط للأسمدة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي أدى إلى تلوث التربة والمياه الجوفية والدليل على ذلك ارتفاع مستويات النترات والعناصر الثقيلة في قطاع التربة في سهل البقاع وأيضا في الطبقات الضحلة الحاملة للمياه الجوفية .

جدول رقم (2-5): مصادر وجودة المياه وتعرضها للتلوث

في بعض البلدان العربية

البلـــــد	مصدر المياه	الجودة	التعرض للتلوث
البحرين	المياه الجوفية تحلية مياه البحر	ضعيفة – متوسطة	تعرض شديد للمياه الملحية
العراق	مياه سطحية مياه جوفية	ضعيفة – جيدة	- مشروعات زائدة في البلاد المجاورة. - تداخل المياه المالحة. - التلوث من نظام الصرف. - التلوث نتيجة التخلص من المياه المستخدمة فى الصناعة. - التلوث من مياه الصرف الزراعي
مصر	مياه سطحية مياه جوفية	جيدة متوسطة	- التلوث من نظام الصرف الصحي - التلوث نتيجة التخلص من مخلفات الصناعة فى المجارى المائية. - المبيدات المستخدمة فى الزراعة.
الكويت	مياه جوفية	ضعيفة	التداخل مع المياه الملحية والتلوث من صناعة البترول.
لبنان	مياه جوفية مياه سطحية	جيدة جيدة	التلوث من نظام الصرف الصحي التخلص من مخلفات المصانع في المجارى المائية.
قطر	مياه جوفية تحلية مياه البحر	متوسطة -	التداخل مع المياه الملحية
السعودية	مياه جوفية مياه سطحية تحلية مياه البحر	جيدة - -	التداخل مع المياه الملحية
الإمارات العربية	مياه سطحية مياه جوفية تحلية مياه البحر	متوسطة - -	صناعى – مخلفات صناعة البترول – التداخل مع المياه الملحية.

Source : UNESCWA 1995.

جدول(2-6): تجمع العناصر الثقلية في قطاع التربة في سهل البقاع

(Darwish et al 2000)

Zn		Ni	Cu	Cr	Co	Cd	العمق سم
95.7	15.5	72.7	28.6	93.6	28.5	0.28	0-20
97.2	13.2	72.8	28.3	93.5	28.1	0.26	20-150
64.4	7.2	48.8	19.2	60.7	17.9	0.24	150-200

جدول(2-7): تحليل الماء من آبار فى سهل البقاع (مجم/لتر)

(Darwish et al 2000)

Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	المصدر
0.86	219.5	0.03	5	12.5	بئر سطحى (8m)
0.95	36.8	0.02	4	5	بئر عميق (70m)
10	3000	3	50	20	صفات مياه الشرب(WHO)

ولقد ورد في دراسة بالمملكة العربية السعودية ارتفاع تركيز النترات في الطبقات الضحلة الحاملة للمياه الجوفية والتى تقع على عمق يتراوح من 30 إلى 50 متر (A/ Zubari, 2000) حيث أظهرت الأبحاث أن تركيز النترات فى مياه 388 بئر تقع فى 6 مناطق بالمملكة يتراوح بين 0.01-5'5 mg/l ودراسة أخرى فى شرق المملكة أظهرت أن تركيز المبيدات فى الآبار غير العميقة كانت منخفضة جداً (Abdulrahman, 2000) .

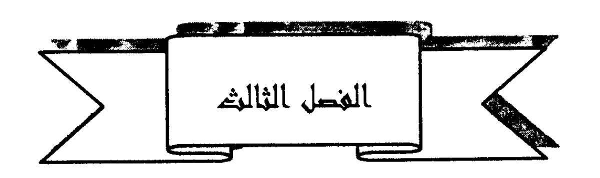
أظهرت فى مصر الدراسات الإفراط في استخدام الأسمدة النيتروجينية والبوتاسية والفوسفاتية (shamrukh et al 2001) ونتج عن ذلك تلوث الطبقات الحاملة للماء في الدلتا ووادي النيل والتي تقع على عمق 70-30 متر . وكان تركيز النترات في هذه المياه تتراوح بين 350-20 والفوسفات 34-7 والبوتاسيوم 28-7 والكبريتات 630-96 مجم/لتر علما بأن الحدود المسموح بها

هي 0.25-3.5 للفوسفات ، 12 للبوتاسيوم ، 400-250 مجم/لتر للكبريتات .

ويعتبر تداخل المياه المالحة من أهم مصادر التلوث في البلدان العربية (لبنان – السعودية – البحرين – الإمارات – قطر) وذلك نتيجة الضخ الزائد من الآبار .

ما سبق هو نبذة مختصرة عن طبيعة ومدى التلوث للمياه الجوفية فى بعض البلدان العربية على الرغم من قصور المعلومات وقله الدراسات عن التلوث فى هذه البلدان مما يدل على أن الحاجة ماسة لمضاعفة الجهد والعمل على حماية البيئة من التلوث .

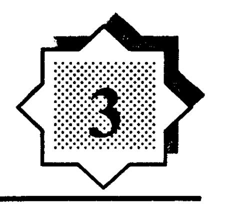




مصادر تلوث الماء الجوفي

- ❖ مصادر مباشرة .
- ❖ مصادر غير مباشرة .
- ❖ مصادر تلوث الماء الجوفى .
- ❖ مصادر ومخاطر الملوثات غير العضوية الرئيسية والتركيز المسموح به فى الماء الجوفى لإستخدامات الشرب .
- ❖ معايير ومخاطر الملوثات غير العضوية الثانوية والتركيز المسموح به فى الماء الجوفى المستخدم لأغراض الشرب .
- ❖ الملوثات العضوية المخلفة والتركيزات المسموح بها فى الماء الجوفى المستخدم لأغراض الشرب .
- ❖ المواد العضوية المتطايرة الملوثة للماء الجوفى والتركيزات المسموح بها فى الماء الجوفى المستخدم لأغراض الشرب .





مصادر تلوث الماء الجوفي

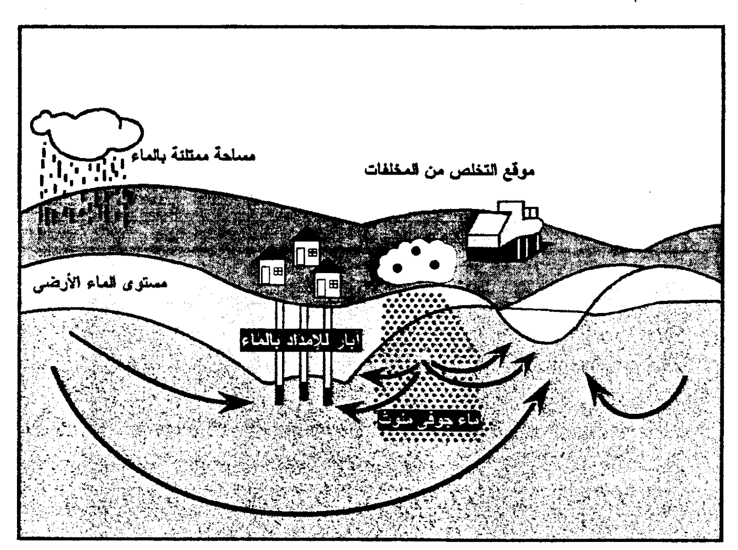
أى إضافة غير مرغوب فيها للماء الجوفى نتيجة النشاط الإنسانى يعتبر تلوث للمياه الجوفية . وقديما كان الاعتقاد السائد أن التلوث تحت سطح الأرض سوف يظل مكانه ولن يتحرك ولكن هذا الاعتقاد ثبت خطأه لأن التلوث الذى يحدث فى الماء الجوفى نتيجة تسرب بعض المواد غير المرغوب فيها يمكن أن ينتشرا بعيدا عن موقع التلوث الأصلى . ويزيد من خطورة تلوث الماء الجوفى صعوبة تنظيفة إن لم يكن مستحيلا .

وتنقسم ملوثات المياه الجوفى إلى :

- **مصادر مباشرة point sources** .

ومثال ذلك : تسرب البترول من صهاريج التخزين و land fills وتسرب الملوثات من نظام تجميع المخلفات spectic system وتسرب المواد الكيميائية وغيرها . نتيجة الحوادث . مواقع التخلص من النفايات الصناعية ومخلفات الصرف الصحى بالقرب من التكوينات الجيولوجية (الحصى والرمل) الحاملة للماء تكون سبب رئيسى لتلوث الماء الجوفى القريب من هذه المواقع ومثال ذلك ما حدث فى Ville Mercier فى كويبك – كندا حيث أدى التخلص من

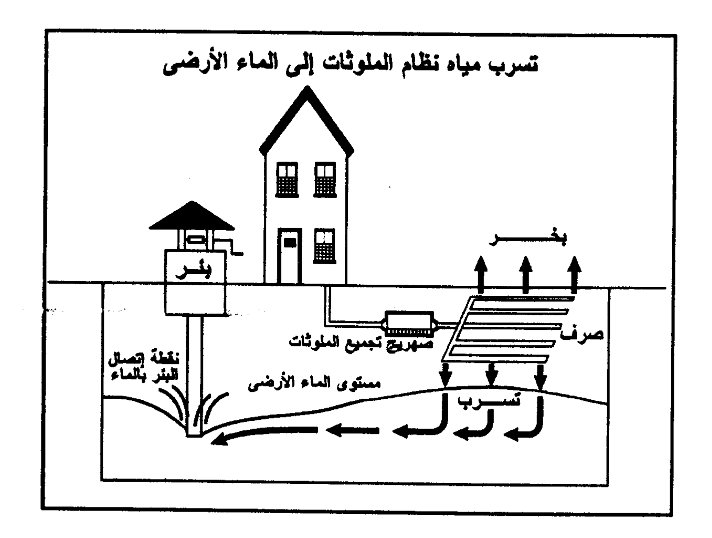
المخلفات الصناعية فى حفر كبيرة إلى تلوث المياه الجوفية فى المنطقة وأصبحت غير صالحة للاستخدام واضطر السكان إلى الحصول على إحتياجاتهم من مياه الشرب بحفر آبار تبعد عشرة كيلو مترات uk هذه المنطقة.



تلوث الماء الجوفى من مواقع التخلص من المخلفات

شكل (3-1)

والمصادر المباشرة التى لا تقل خطورة عن السابقة وتنتشر بدرجة كبيرة فى جميع البلدان وتعتبرة خطيرة هى صهاريج تجميع الملوثات فى المنازل وخاصة الريفية septic tanks شكل (3-1) حيث أن هذا النظام مصمم على أن جزء من مخلفات الصرف الصحى يحجز فى الصهريج وجزء أخر يدمص على الأتربة المحيطة بهذه الصهاريج ولذلك فإحتمال تلوث الماء الجوفى بمياه الصرف الصحى كبير وتشمل البكتريا والفيروسات والمنظفات التى تتسبب فى مشاكل عديدة .



شكل (3-2): تلوث الماء الجوفى عن طريق صهاريج تجميع الملوثات من المنازل فى الريف

- **مصادر غير مباشرة Nonpoint sources .**

وتعد الزراعة وإستخدام المبيدات والأسمدة وتسربها إلى المياه الجوفية مثال لمصادر التلوث غير المباشرة . فمشاكل تلوث الماء الجوفى فى عصرنا هذا تزداد نتيجة زيادة المركبات السامة المستخدمة فى الصناعة والزراعة ويعتقد العلماء أن كثير من مياه الآبار المنزلية المستخدمه فى الريف تم تلويثها عن طريق نظم تجميع مخلفات الصرف الصحى septic system والجريان السطحى المحمل بالمبيدات والأسمدة وتنبأ البحاث أن كثير من التكوينات الجيولوجية الحاملة للماء Aquifers سوف يكتشف تلوثها وهذا بالطبع لن يقتصر على الماء الجوفى وحده بل سوف يتعداه إلى المياه السطحية حيث أن الماء الجوفى يصب فى النهاية فى الأنهار والبحيرات .

<u>حقيقـــــة</u>

يصل الماء إلى المنطقة المشبعة عن طريق تصرف الماء خلال المنطقة غير المشبعة وبالتالى فالملوثات التى تمر خلال المنطقة غير المشبعة هى فقط التى لها المقدرة على الوصول إلى المنطقة المشبعة وتلويثها .

مصادر تلوث الماء الجوفى

مصادر مباشرة Point Sources :

- نظام تجميع الملوثات Septic systems .
- التسرب من أنابيب البترول أو خزانات المنتجات البترولية .
- تسرب المواد الكيميائية التى تستخدم فى الصناعة فى موقع المصنع .
- Lanfills .
- مخلفات الحيوانات .
- التسرب من أنابيب الصرف الصحى .
- الكيماويات المستخدمة فى حفظ الأخشاب فى الموقع نفسه .
- مناطق المناجم .
- مخلفات إنتاج الفحم .
- أماكن التخلص من الحمأة الناتجة من معامل تكرير البترول .
- الأراضى التى تستخدم فيها الحمأة غير المعالجة ومياه الصرف الصحى غير المعالجة .
- المدافن .
- الآبار التى تستخدم للتخلص من النفايات السائلة .
- الجريان السطحى المحمل بالاملاح والكيماويات من الطرق والشوارع .
- حوادث الطرق للعربات المحملة بالكيماويات أو المنتجات البترولية .

مصادر غير مباشرة :

- الأسمدة المستخدمة فى الزراعة والمضافة للأراضى .
- المبيدات المستخدمة فى الزراعة والمضافة إلى الأراضى والحدائق والغابات .
- الملوثات الموجودة فى الأمطار والهواء .

ويمكن أيضا تقسيم مصادر تلوث المياه الجوفية إلى :

١- مصادر تلوث زراعية

أ – تعد الأسمدة والمبيدات الحشرية ومبيدات الحشائش ومخلفات الحيوان من أهم مصادر تلوث المياه الجوفية . ودور الزراعة فى تلوث المياه عديد ومتنوع نذكر منه على سبيل المثال :

- الفاقد فى الأسمدة والمبيدات عند تداولهم .
- ماء الجريان السطحى المحمل بالأسمدة والمبيدات .
- استخدام مواد كيميائية زراعية بالقرب من مصدر ماء جوفى .
- تعتبر الأراضى الزراعية غير جيدة الصرف ، أراضى غير منتجة ولذلك يحرص المزارع على شق المصارف وتحسين حاله الصرف فى أرضيه لتحسين إنتاجيتها . ويعتبر المصارف وسيلة فعاله لنقل الملوثات إلى المياه الجوفية .
- خلط الأسمدة والمبيدات مع مياه الرى يمكن أن يؤدى إلى تلوث المياه الجوفية إذا ما استخدمت كميات تزيد عن إحتياج المحصول .

حقيقـــة

المصادر الزراعية الشائعة لتلوث المياه الجوفية هى :-

- أماكن تربية الحيوانات .
- مناطق تخزين الكيماويات الزراعية .
- مواقع الرى .
- أماكن تخزين ونشر مخلفات الحيوانات .

ب- إضافة الأسمدة والمبيدات بأنواعها بطريقة عشوائية وغير مقننه تؤدى إلى تلوث المياه الجوفية بما يلى :-

- عديد من المركبات العضوية .
- النيتروجين .
- الكادميوم .
- الكلوريد .
- السيلينيوم .

حقيقـــــة

مخلفات الحيوانات والأسمدة مصدر التلوث الرئيسي لـــ 75% من النيتروجين والفوسفور الموجود فى الأنهار والبحيرات .

ج - أماكن تربية الحيوان وما تحتوية من مخلفات الحيوانات تكون مصدر للتلوث بما يلى :

- النترات .
- البكتريا الممرضة .
- الأملاح الكلية الذائية .
- الكبريتات .

معدات المزرعة والكيماويات غير المخزنة بطريقة سليمة تكون مصدرا للملوثات التالية :

- الرصاص والباريوم (البويات) .
- مركبات عضوية متطايرة (الزيوت البترولية) .

د- عدم صيانة نظام التخلص من الفضلات septic system فى مبانى المزرعة يؤدى إلى تلوث المياه الجوفية بالتالى :

- بكتريا ممرضة .
- نترات .
- أملاح كلية ذائبة .
- كلوريد .
- صوديوم .
- كبريتات .
- منظفات .
- كروم .

٢- مصادر تلوث سكنية .

أ - يعد التسرب من صهريج التخلص من المخلفات septic tank المصدر الرئيسى لتلوث المياه الجوفية ولذلك فإن إساءة إستخدام هذا النظام واستخدامه فى التخلص من الكيماويات والزيوت وغيرها يؤدى إلى تلوث المياه الجوفية . ونظام التخلص من الفضلات يمكن أن يكون مصدرا للعديد من الملوثات مثل البكتريا والفيروسات والنترات والمواد العضوية .

ب- عدم التخزين السليم لمتطلبات المنازل مثل البويات والمنظفات والمذيبات والزيوت والمطهرات والمبيدات فى بدروم المنازل يمكن أن يؤدى إلى تلوث المياه الجوفية . كما أن التخلص من هذه الأشياء مع القمامة يمكن أن يؤدى إلى تلوث المياه الجوفية فى أماكن تجمع القمامة غير المجهزة لاستيعاب هذه الملوثات الخطرة .

ج- الأسمدة ومبيدات الحشائش والمبيدات الفطرية والحشرية التى تستخدم بكميات كبيرة يمكن أن تنتقل خلال التربة وتلوث المياه الجوفية .

حقيقـــــة

المصـادر السكنية الشائعة لتلوث المياه الجوفية هى :-

- الزيوت البترولية .
- المنظفات .
- صهريج التخلص من الملوثات septic tank .
- مجارى الأمطار .
- الأسمدة والمبيدات المستخدمة فى الحدائق .
- الكيماويات المستخدمة فى أحواض السباحة .

د- الكيماويات والزيوت المخزنة فى الطابق الأرضى غير المجهز تكون مصدر لتلوث المياه الجوفية بالآتى :

- رصاص وكادميوم وزئبق (بطاريات) .
- رصاص وباريوم (بويات) .
- مواد عضوية متطايره (زيوت بترولية) .

هـ- المياه التى تستخدم فى المنازل وتدخل نظام الصرف الصحى أو نظام التخلص من الفضلات septic system تحتوى على الملوثات التالية :

- المنظفات (غسيل) .
- المركبات العضوية .
- البكتريا الممرضة والنترات والكبريتات (مياه الصرف الصحى) .

الماء الناتج من أماكن تجميع قمامة المنازل يحتوى على .

- أملاح ذائبة .
- مواد عضوية متطايرة .

- أحماض .
- مواد كيميائية سامة .
- عناصر ثقيلة مثل المنجنيز .

و- إستخدام الأسمدة والمبيدات بأنواعها بكميات كبيرة تزيد عن الإحتياج فى الحدائق يمكن أن يؤدى إلى تلوث المياه الجوفية بالتالى :

- مواد عضوية .
- كادميوم .
- نيتروجين .
- كلوريد
- زئبق .

٣- مصادر التلوث الصناعية .

تتطلب الأنشطة الإقتصادية الحديثة نقل وتخزين المواد الكيميائية التى تستخدم فى الصناعات المتعددة . ويمكن لهذه المواد أن تجد طريقها إلى المياه الجوفية خلال الحوادث أو التخزين السئ . كما أن التخلص من مخلفات هذه الصناعات قد بيساهم فى تلوث المياه الجوفية .

يمكن أن يحدث تسرب من الصهاريج الموجودة فوق أو تحت سطح الأرض والتى تستعمل لتخزين منتجات بترولية ، أحماض ومواد كيماوية نتيجة لتآكل الأنابيب ويؤدى ذلك إلى تلوث المياه الجوفية . كما أن الأنشطة التعدينية ومناجم استخراج المعدن وما يتبع ذلك من عملية إستخراج وإستخلاص المعادن والتخلص من المخلفات يمكن أن تؤدى إلى تلوث المياه الجوفية .

حقيقــة

قدرت هيئة حماية البيئة الأمريكية أن حوالى 15% من صهاريج تخزين الوقود الموجودة تحت سطح الأرض يحدث منها تسرب .

٤- مصادر التلوث الطبيعية .

يحتوى الماء الجوفى على بعض الشوائب الطبيعية . ويتوقف تركيز ونوع هذه الشوائب على طبيعة المواد الجيولوجية التى يمر خلالها الماء وأيضا جودة المياه التعويضية recharge water .

فالماء الجوفى عند مرورة خلال الصخور الرسوبية والتربة قد يلتقط بعض العناصر مثل المغنسيوم والكالسيوم والكلوريدات . وكذلك بعض تركيزات طبيعية من الأملاح الذائبة مثل الزرنيخ والبورون والسيليتيوم وتأثير المصادر الطبيعية للتلوث على جودة المياه الجوفية يتوقف على نوع الملوث وتركيزه .

والتلوث الطبيعى الذى يحدث قد يؤدى إلى التلوث بالآتى :

- الألومونيوم .
- المنجنيز .
- الكلوريد .
- الكروم .
- الفضة .
- الصوديوم .
- الفلوريد .
- عسر الماء .
- الحديد .
- الأملاح الكلية الذائبة .
- الزرنيخ .
- الزئبق .
- النترات .
- السيلينيوم .
- البكتريا الممرضة .
- النحاس .
- الكبريتات .
- الزنك .
- الرصاص .

الملـــوثات Contaminants

يمكن للعديد من المواد أن يجد طريقه إلى المياه الجوفية ويلوثها وهذه المواد تشمل :

١- مواد غير عضوية .
- ملوثات رئيسية . - ملوثات ثانوية .
٢- مواد عضوية .
- مركبات عضوية متطايرة . - مركبات عضوية مخلقه .
٣- مواد أخرى .

وتستخدم المياه الجوفية فى العديد من المناطق كمصدر لمياه الشرب ولذلك فإن تلوث المياه الجوفية يعنى تلوث مياه الشرب ولذلك فإن هيئة حماية البيئة الأمريكية وضعت مقاييس ثابتة لصفات وجودة مياه الشرب . ويطلق على المعايير الخاصة بمياه الشرب والتى تؤثر على صحة الإنسان بالمعايير الرئيسية ويتم التعبير عنها بإستخدام أقصى تركيز مسموح به Maximum Concentration level (MCL) . أما المعايير الثانوية Secondany Maximum Contaminant level (SMCL) فتشمل المواد التى تسبب تغير فى اللون والطعم والرائحة .

ويعرف أقصى تركيز مسموح به (MCL) فأنه أقصى تركيز للملوثات مسموح . يتواجد فى الماء الذى يستخدم للشرب ويعبر عنه إما مجم /لتر . جزء فى البليون . ويتم تحديد التركيز الأقصى المسموح به عن طريق الأبحاث التى تثبت أن التركيزات الأعلى من الحد المسموح به يمكن أن يؤدى إلى مشاكل صحية للإنسان .

حقيقـــــة

جزء فى البليون (IPPb) يكافئ تقريباً :

- إذابة $^1/_6$ قرص أسبرين فى 30,000 لتر ماء وبفرض أن الفرد يشرب 2 لتر يوميا فإن استهلاك الماء يستغرق حوالى 80 عاما وبالتالى $^1/_6$ قرص الأسبرين يتم هضمة فى ثمانين عاما .
- ثانية واحدة فى ٣٢ عاما .

مصادر ومخاطر الملوثات غير العضوية الرئيسية والتركيز المسموح به فى الماء الجوفى لأستخدامات الشرب

مصادر الملوثات الرئيسية غير العضوية للمياه الجوفية

الملوثـــــات	زراعية	مجمعات سكنية	صناعية	طبيعية
أنتيمـــونى		✓		✓
زرنيـــخ	✓			✓
أسبستوس		✓		✓
باريـــوم	✓	✓	✓	
بيريلـــيوم			✓	✓
كادميوم	✓	✓	✓	
كروميـــوم	✓		✓	✓
نـــــحاس		✓	✓	✓
ســـــيانيد	✓		✓	
فلـــــوريد			✓	✓
رصـــــاص	✓	✓		✓
زئبـــــق	✓	✓	✓	✓
نيـــــكل		✓	✓	✓
نتـــــرات	✓	✓		✓
نيتـــــريت	✓	✓		✓
ســـيلينيوم	✓	✓	✓	✓
ثاليـــــوم		✓		✓

١- الأنتيمونى (Sd) .

أقصى تركيز مسموح MCL	0.005 mg/L
التأثـــير	متبطء للنمو – يسبب أمراض السرطان – تهييج أغشية الجلد والعين .
المصـــادر	مواد مكافحة الحريق – السيراميك – الكترونيات – الألعاب النارية.
طرق المعالجة	تجميع – ترشيح – تقطير – أسموزيه عكسية .

٢- الزرنيخ (As) .

أقصى تركيز مسموح MCL	0.005 mg/L
التأثـــير الضـــار	فقد الوزن – الإكتئاب – ضعف الطاقة – يسمم الجلد والجهاز العصبى – مسبب لأمراض السرطان .
المصـــادر	زراعيه " كان يستخدم قديما فى صناعة المبيدات. صناعية : النشاط التعدينى – التخلص من مخلفات صناعة الزجاج والإلكترونيات بطريقة غير سليمة ". طبيعية : الصخور .
طرق المعالجة	الألومنيا المنشطة – الأسموزيه العكسية – التقطير – الترسيب الكيميائى – التبادل الأيونى .

٣- الأسبستوس .

أقصى تركيز مسموح MCL	7 مليون نسيج (طول النسيج Fiber بكافى ، ١٠ ميكرون) /لتر .
التأثـــير	سبب محتمل للإصابة بأمراض السرطان .
المصـــادر	مواسيد أسمنتية – مواد مكافحة الحريق – الأسقف المصنوعة من السبستوس .
طرق المعالجة	تجميع Coagulation .

٤- البـــاريوم .

أقصى تركيز مسموح MCL	2 mg/L
التأثـــــير	تأثير سام على القلب والأوعية الدموية والأعصاب . – يتجمع فى الكبد والرئتين والطحال . اختلال النظام العصبى . – إرتفاع ضغط الدم وأمراض القلب . – الجرعة القاتلة = 550 mg .
المصـــــادر	الزراعية : بويات – زيت ديزل . تجميعات سكانية : بويات – زيت ديزل . صناعية : زيت ديزل – وقود الطائرات – التعدين . طبيعية : الصخور والتربة .
طرق المعالجة	تبادل أيونى – أسموزيه عكسية – تقطير .

٥- بيريـــليوم (Be) .

أقصى تركيز مسموح MCL	0.004 mg/L
التأثـــــير	تلف الرئة والعظام – مسبب لأمراض السرطان .
المصـــــادر	صناعية : صناعات كهربائية ونورية – ووقود الصواريخ .
طرق المعالجة	الكربون النشط – ترشيح /تجميع – تبادل أيونى – أسموزية عكسية – تقطير .

٦- كادميـــوم (Cd) .

أقصى تركيز مسموح MCL	0.005 mg/L
التأثـــــير	تشوهات وراثية – فشل كلوى متعلق بارتفاع ضغط الدم .
المصـــــادر	زراعية : الأسمدة – مياه الصرف . تجميعات سكنية : البطاريات – البويات – الأسمدة الموسير المجلفنه . صناعية : مياه الصرف الصناعى – الصناعات التعدينية والبترولية – مناجم الرصاص والنحاس – المخلفات الخطرة – الطلاء الكهربائى .

طرق المعالجة	ترسيب كيمائى – استخدام كربونات الكالسيوم – تبادل أيونى – أسموزية عكسية – تقطير .

٧- نحـــــاس (Cu) .

أقصى تركيز	1.3 mg/L
التأثـــــير	فقر الدم – عسر هضم – فشل كبدى وكلوى – طعم مر – يترك صبغة زرقاء مخضرة على السباكه .
المصـــــادر	تجمعات سكانية : غسيل من مواسير المياه المصنوعة من النحاس – معالجة الطحالب . صناعية : مخلفات الصناعة والتعدين – المواد الحافظة للأخشاب . طبيعية : ترسيبات طبيعية .
طرق المعالجة	تقطير – تبادل أيونى – أسموزية عكسية .

٨- كـــــروم (Cr) .

أقصى تركيز مسموح MCL	0.1 mg/L
التأثـــــير	تهيج الجلد فتوحات جلدية – أدرام رئوية – تلف النظام العصبى والدورة الدموية – يتجمع فى الطحال والعظام والكبد والكلى .
المصـــــادر	زراعية : نظام التخلص من الملوثات Septic system فى المزارع . صناعية : مواقع التعدين – مياه الصرف الصناعى .
طرق المعالجة	تجميع /ترشيح – تبادل أيونى – أسموزية عكسية – تقطير .

٩- السيانيـــد .

أقصى تركيز مسموح MCL	0.2 mg/L
التأثـــــير	تلف الجهاز العصبى .
المصـــــادر	زراعية : الأسمدة . صناعية : الإلكترونيات وصناعات الصلب والبلاستيك .
طرق المعالجة	تبادل أيونى – أسموزيه عكسية – كلورة .

١٠- الفلــوريد (F) .

أقصى تركيز مسموح MCL	4.0 mg/L
التأثـــير	جعل الأسنان لون بنى – هشاشة العظام .
المصــــادر	صناعية : مخلفات الصناعة . طبيعية : جيولوجية .
طرق المعالجة	الألومنيا النشطة – التقطير – الأسموزية العكسية – التبادل الأيونى.

١١- الرصـــاص (Pb) .

أقصى تركيز مسموح	0.015 mg/L
التأثـــير	تخلف عقلى – خلل فى وظائف الكلى والنظام العصبى فقد سمع – توتر – أمراض الدم – يسبب الموت عند التركيزات العالية .
المصــــادر	زراعية : بويات – وقود الديزل المستخدم فى المعدات الزراعية . تجمعات سكنية : المواسير – البطاريات – البنزين المضاف إليه رصاص . طبيعية : ترسيبات طبيعية .
طرق المعالجة	تبادل أيونى – كربون نشط – أسموزية عكسية – تقطير – تجميع وترشيح .

١٢- الزئبـــق (Hg) .

أقصى تركيز مسموح (CML)	0.002 mg/L
التأثـــير	فقد السمع والرؤية – خلل فى وظائف الكلى والجهاز العصبى – يسبب الموت عند التركيزات العالية .
المصــــادر	زراعية : مبيدات الفطريات . تجمعات سكنه : البطاريات – مبيدات الفطريات . صناعية :معدات كهرباية – الورق وأفينيل كلوريد . طبيعية : ترسيبات طبيعية .
طرق المعالجة	تبادل أيونى – تقطير – أسموزية عكسية .

١٣- النيـــكل (Ni) .

أقصى تركيز مسموح (MCL)	0.1 mg/L
التأثـــير	فشل كبدى – أمراض القلب – سبب لأمراض السرطان .
المصـــــادر	تجمعات سكنه : بطاريات مستهلكة . صناعية : السبائك – صناعات كيماويات . طبيعية : جيولوجية .
طرق المعالجة	تبادل أيونى – أسموزية عكسية – تقطير .

١٤- النتـــرات (NO_3) .

أقصى تركيز مسموح MCL	10 mg/L
التأثـــير	مرض metho moglobinemia فى الأطفال الرضع .
المصـــــادر	زراعية : نظام التخلص من الملوثات – أماكن تربية الحيوان – الأسمدة – أماكن تجميع مخلفات الحيوان . تجمعات سكنية : مياه الصرف الصحى – الأسمدة . صناعية : صناعات الأسمدة . طبيعية : ترسيبات صبغية .
طرق المعالجة	تبادل أيونى – تقطير – أسموزية عكسية .

١٥- السـيلينيوم (Se) .

أقصى تركيز مسموح MCL	0.05 mg/L
التأثـــير	مثبط للنمو – مشاكل هضم – فشل كبدى – تغيير لون الجلد – يؤثر على الجهاز العصبى .
المصـــــادر	زراعية : مبيدات الفطريات . تجميعات سكنية : مبيدات فطرية . صناعية : تعدين – إحتراق الوقود والفحم – صناعة البويات . طبيعية : جيولوجية .
طرق المعالجة	تجميع /ترشيح – تبادل أيونى – أسموزية عكسية – تقطير .

١٦- ثاليـــــوم (Tl) .

أقصى تركيز مسموح MCL	0.02 mg/L
التأثـــــير	تهيج الجلد .
المصـــــادر	صناعية : الإلكترونيات – الأدوية – السبائك والزجاج .
طرق المعالجة	التبادل الأيونى – التقطير – الألومنيا النشطة .

معايير ومخاطر الملوثات غير العضوية الثانوية والتركيز المسموح به فى الماء الجوفى المستخدم لأغراض الشرب

مصادر ملوثات الماء غير العضوية (الثانوية) .

الملوثـــــات	زراعية	تجمعات سكنية	صناعية	طبيعية
ألومنونيـــوم	✓	✓	✓	✓
كلـــــور	✓	✓	✓	✓
حديــــد		✓		✓
منجنيـــز		✓		✓
فضــــه			✓	✓
صوديـــوم	✓	✓		✓
كبريتـــــات	✓	✓	✓	✓
زنـــك		✓		✓

١- الألمونيـــــوم .

أقصى تركيز مسموح CML	0.05-0.2 mg/L
التأثـــــير	مرض البزيهايمر – إزاله الكلور من الماء .
المصـــــادر	تجمعات سكنية : مواد النباء الأفران . صناعية : المعدات الكهربائية . طبيعية : ترسيبات طبيعية .
طرق المعالجة	أسموزية عكسية – تقطير – تبادل أيونى .

٢- الكـــلوريد (Cl) .

أقصى تركيز مسموح CML	250 mg/L
التأثـــــير (المخاطر)	إرتفاع ضغط الدم – مذاق ملحى – تأكل المواسير – تبقع وإسوداد الصلب .

المصـــــادر	زراعية : أسمدة – مخلفات الحيوانات – نظام تجميع الملوثات . تجميعات سكنية : الأسمدة . صناعية : مخلفات صناعية . طبيعية : معادن – ماء البحر .
طرق المعالجة	أسموزية عكسية – تقطير – كربون منشط .

٣- الحديـــــد (Fe) .

أقصى تركيز مسموح CML	0.3 mg/L
التأثـــير	لون غامق – مذاق معدنى – بكتريا الحديد – يزيل ألوان المياه الغازية .
المصـــــادر	تجمعات سكنية : غسيل الحديد من المواسير وتوزيع المياه . طبيعية : جيولوجية .
طرق المعالجة	الكلورة – تبادل أيونى – ترشيح ميكانيكى – تقطير .

٤- المنجنيـــز (Mn) .

أقصى تركيز مسموح CML	0.05 mg/L
التأثـــير	لون بنى – بقع سوداء على الملابس عند استعمال المياه فى الغسيل – طعم مر .
المصـــــادر	تجمعات سكنية : أماكن تجميع المخلفات . طبيعية : ترسيبات فى الصخور والتربة .
طرق المعالجة	تبادل أيونى – كلورة – ترشيح ميكانيكى بالرمل .

٥- الفضـــة (Ag) .

أقصى تركيز مسموح CML	0.10 mg/L
التأثـــير	تعتبر لون الجلد – تهيج أغشية العينين والحلق .
المصـــــادر	صناعية : صناعة الفضيات – طرق التحميض – التعدين . طبيعية : ترسيبات طبيعية .
طرق المعالجة	تبادل أيونى – أسموزية عكسية – تقطير .

٦- الصوديـــوم .

أقصى تركيز مسموح CML	20 mg/L
التأثـــير	إرتفاع ضغط الدم .
المصــــادر	زراعية : نظام تجميع الملوثات . طبيعية : تداخل مياه البحر – المعادن .
طرق المعالجة	تبادل أيونى – تقطير – أسموزية عكسية .

٧- الكبريتـــات (SO_4) .

أقصى تركيز مسموح CML	250 mg/L
المخاطـــر	طعم مر يشبة الدواء – ترسيبات على السطح – تأكل رائحة البيض الفاسد ناتجة من تكون غاز كبريتيد الهيدورجين .
المصــــادر	زراعية : مخلفات الحيوانات – نظام تجميع الملوثات septic . تجميعات سكنية : مياه الصرف الصحى . صناعية : نواتج مناجم الفحم – مخلفات الصناعة . طبيعية : ترسيبات طبيعية .
طرق المعالجة	تجميع /ترشيح – تبادل أيونى – أسموزية عكسية – تقطير .

٨- الزنـــك (Zn) .

أقصى تركيز مسموح CML	5 mg/L
التأثـــير	طعم معدنى .
المصــــادر	تجمعات سكنية : البويات والصبغات – غسيل من مواسير المياه المخلفة . طبيعية : ترسيبات طبيعية .
طرق المعالجة	تبادل أيونى – تقطير – أسموزية عكسية .

الملوثات العضوية المخلفة والتركيزات المسموح بها
فى الماء الجوفى المستخدم لأغراض الشرب

مصادر المواد العضوية المخلقه الملوثة للماء الجوفى .

الملوثـــات	زراعية	تجمعات سكنية	صناعية	طبيعية
الأكلور		✓		
أترازين		✓		
بنزروبيرين				✓
كاربوفيوران		✓		
كلوردان		✓		
دالابون		✓		
ثنائى بروموكلوروبروبان		✓		
2,4 ثنائى كلوروفينوكسى حمض الخليك		✓		
ثنائى (2- إتسيل مكسيك آديبان)			✓	✓
ثانى (2- إيثسل هكسيل) فاثالات			✓	✓
ديوكسيل		✓		✓
إيثلين ثنائى اليروميد		✓		✓
دينوسيب		✓		
ديكوات		✓		
إندوثال		✓		
إندرين		✓		
جليفوسات		✓	✓	✓
هيبتاكلور		✓		
هيبتاكلور إيبوكيد		✓		
هكساكلوروبنزين		✓		
هيكسا كلورو سيلكو بنتادين		✓		
ليندان		✓		
ميثوكسى كلور		✓	✓	
أوكسى ميل		✓		
خماسى كلورو فينول		✓	✓	✓
بيكلورام		✓	✓	
بولى كلور ثنائى الفيتيل				✓
سيمازين		✓	✓	✓
سيلفكس 2,4,5		✓	✓	
توكسافين		✓	✓	

جدول (1): مصادر ومخاطر الملوثات العضوية المخلفه والتركيز المسموح به في الماء الجوفي لاستخدامات الشرب .

الملوثـــات	أقصى تركيز مسموح (CML) mg/l	التأثـــير	المصـــادر	طرق المعالجة
Alachlor	0.002	– أمراض السرطان . – فشل كبدى – تلف العين	زراعية : مبيدات حشائش	كربون منشط
Atrazine	0.003	أمراض السرطان	زراعية : مبيدات حشائش	
Benzo (a) pyrene	0.0002	– أمراض السرطان .	القطران – حرق المواد العضوية – الحفريات الوقودية .	
Corbofuran	0.04	– أمراض السرطان . – الخصوبة والجهاز العصبى.	زراعية : مبيدات حشرية .	
Chlordane	0.0002	– أمراض السرطان .	مبيدات حشرية – غسيل من الأراض المضاف إليها مبيدات حشرية .	
Dalapon	0.2	– أمراض السرطان . – فشل كلوى وكبدى .	مبيدات حشائش للموالح والفول والقهوة والمتنزهات .	
Dibromo Chloropropane (DBCP)	0.0002	– أمراض السرطان . – الخصوبة .	الغسيل من الأراضى المضاف إليها مبيدات فطرية لمحاصيل فول الصويا والقطن .	

جدول (2): مصادر ومخاطر الملوثات العضوية المخلقه والتركيز المسموح به فى الماء الجوفى لاستخدامات الشرب .

الملوثـــــات	أقصى تركيز مسموح (CML) mg/l	التأثـــير	المصـــــادر	طرق المعالجة
2,4-Dichlorophenoxy acetic acid (2-4D)	0.07	فشل كبدى وكلوى – تهيج الجلد – مسبب للأمراض السرطانية .	زراعية : مبيدات الحشائش .	كربون منشـــط
Di (2-ethylhexyl) Adipate	0.4	نقص الوزن – فشل كبدى – مسبب للأمراض السرطانية .	تجمعات سكنية : أدوات التجميل – مخلفات الغذاء – المطاط الصناعي.	
Di (2-ethylhexyl) phthalate	0.006	مسبب للأمراض السرطانية .	تجمعات سكنية : الأدوات البلاستيكية .	
2,3,7,8-TCDD (Dioxin)	0.00000003	مسبب للأمراض السرطانية .	زراعية : الشوائب الموجودة فى مبيدات الحشائش . صناعية : الصناعات الكيماوية.	
Ethylene Dibromide (EDB)	0.00005	مسبب للأمراض السرطانية .	زراعية : غسيل من التربة المعقمة .	
Dinose	0.007	مسبب للسرطان – تلف لأعضاء الخصوبه .	زراعية : الجريان السطحى المحمل بالمبيدات المستخدمة في المحاصيل .	

جدول (3): مصادر ومخاطر الملوثات العضوية المخلقه والتركيز المسموح به فى الماء الجوفى لاستخدامات الشرب .

الملوثـــات	أقصى تركيز مسموح (CML) mg/l	التأثـــير	المصـــادر	طرق المعالجة
Diquat	0.02	- يؤثر على العيون والكبد والكلى . - يسبب امراض السرطان .	زراعية : الجريان السطحى المحمل بمبيدات الحشائش .	كربون منشط
Endothall	0.1	- تلف الكبد والكليه والأمعاء . - يسبب أمراض السرطان .	زراعية : مبيدات الحشائش التى تستخدم فى الأراضى المنزرعة بالمحاصيل .	
Endrin	0.002	- تلف الكبد والكليه والقلب . - يسبب أمراض السرطان .	زراعية : المبيدات الحشرية التى تستخدم لمكافحة الحشرات والقوارص . (محظور استخدامها منذ عام 1980).	
Glyphosate	0.7	فشل كبدى وكلوى .	زراعية : مبيدات الحشائش .	
heptachlor	0.0004	- فشل كبدى . - يسبب أمراض السرطان .	زراعية : مبيدات حشرية .	
Heptachlor Epoxide	0.0002	- فشل كبدى . - يسبب أمراض السرطان .	زراعية : تحلل حيوى للهبتاكلور heptachlor .	

جدول (4): مصادر ومخاطر الملوثات العضوية المخلقه والتركيز المسموح به فى الماء الجوفى لاستخدامات الشرب .

الملوثـــــات	أقصى تركيز مسموح (CML) mg/l	التأثـــير	المصـــــادر	طرق المعالجة
Hexachloro benzene	0.001	مسبب لأمراض السرطان .	زراعية : الشرائب الموجودة فى المذيبات المصنعه للمبيدات.	كربون منشط
Hexachlorocyclo-Pentadiene	0.05	تلف الكليتين والمعدة .	زراعية :نواتج وسيطة لتحلل المبيدات .	
Lindane	0.0002	- فشل كبدى وكلوى . - تلف الجهاز العصبى وجهاز المناعة . - تلف الدورة الدموية .	زراعية : مبيد حشرى (محظور استخدامه بواسطة هيئة حماية البيئة الأمريكية منذ عام 1987).	
Methoxychlor	0.04	تأثير ضار على النمو والكبد والكليه والأعصاب .	زراعية : مبيد حشرى يستخدم فى مكافحة الحشرات التى تصيب الفاكهة والخضروات والبرسيم .	
Oxamyl (Vydate).	0.2	- فشل كبدى . - يسبب أمراض السرطان .	زراعية : مبيد حشرى يستخدم لمكافحة الحشرات التى تصيب البطاطس والطماطم والتفاح .	
Pentachloro phenol	0.001	- مشاكل فى الكبد والكلى . - يسبب أمراض السرطان .	زراعية : مبيدات الحشائش . صناعية : مخلفات صناعه المواد الحافظة للأخشاب .	
Picloram		فشل كبدى وكلوى	مبيد حشائش	

جدول (5): مصادر ومخاطر الملوثات العضوية المخلقه والتركيز المسموح به فى الماء الجوفى لاستخدامات الشرب .

الملوثـــــات	أقصى تركيز مسموح (CML) mg/l	التأثـــير	المصـــــادر	طرق المعالجة
Polychlorinated Biphenyls (PCBs)	0.0005	- يسبب أمراض السرطان . - فشل كبدى .	صناعية : مخلفات الصناعة .	كــــربون منشــــط
Sima zine	0.004	- يسبب مشاكل في الدم .	زراعية : مبيد حشائش .	
Silvex 2,4,5-TP	0.05	- فشل كبدى وكلوى . - يسبب أمراض السرطان .	زراعية : مبيد حشائش . (حظر استخدامه بواسطة هيئة حماية البيئة الأمريكية عام 1985) .	
Toxaphene	0.003	- يسبب أمراض السرطان .	زراعية : مبيد حشرى . يستخدم لمكافحة الحشرات التى تصيب القطن وفول الصويا . (حظر استخدامه بواسطة هيئة حماية البيئة الأمريكية عام 1982).	

المواد العضوية المتطايرة الملوثة للماء الجوفى والتركيزات المسموح بها فى الماء الجوفى المستخدم لأغراض الشرب

مصادر المواد العضوية المتطايرة الملوثة للماء الجوفى .

الملوثـــات	زراعية	تجمعات سكنية	صناعية	طبيعية
بنزين	✓		✓	
رابع كلوريد الكربون		✓	✓	
1,2 ثنائى كلور وإثيلين				
1,2 ثنائى كلور وإيثان		✓	✓	
1,1 ثنائى كلور وإثيلين		✓		
ثنائى كلور وإيثان			✓	
1,2 ثنائى كلور وبروبان	✓		✓	
إيثيل بنزين	✓		✓	
أحادى كلور وبنزين	✓		✓	
O- ثنائى كلور وبنزين			✓	
O,M-P- xylene		✓	✓	
بارا-ثنائى كلورو بنزين		✓		
سترين			✓	
ترانس 1,2 ثنائى كلورو إثيلين			✓	
رابع كلورو إثيلين			✓	
تولوين			✓	
1.2.4 ثلاثى كلورو بنزين	✓		✓	
1.1.1- ثلاثى كلورو بنزين			✓	
1.1.2- ثنائى كلورو إيثان			✓	
ثلاثى كلورو إيثان			✓	
كلوريد فينيل		✓		

جدول (1): مصادر ومخاطر والتركيز المسموح به للمواد العضوية المتطايرة الملوثة للماء .

الملوثـــــات	أقصى تركيز مسموح (CML) mg/l	المخاطر	المصــــــادر	طرق المعالجة
Ben zene	0.005	- سرطان الدم - تلف الأعصاب والرئة والكليتين. - يؤثر على الخصوبة .	- تسرب الوقود من صهاريج التخزين. - مخلفات صناعة المبيدات وصناعات المنظفات والمذيبات	الكربون المنشـــط
Carbon Tetrachloride	0.005	- أمراض السرطان . - الجهاز العصبى المركزى والإكتئاب . - تلف الكبد والكليتين .	تجمعات سكنية : المواد المنظفة الأيروسول أماكن تجميع المخلفات Land fells .	الكربون المنشـــط
Cis-1,2-Dichloroethylene	0.07	- تلف الجهاز العصبى . - تلف الكبد والكليتين .	صناعية : مخلفات صناعة واستخلاص المذيبات.	- الكربون المنشـــط . - التهويـــــة .
Dichloroethane	0.005	- أمراض السرطان .	صناعية : مخلفات صناعات البويات وتلميع المعادن والمستخلصات .	- الكربون المنشط المحبب.
1-2-Dichloroethane	0.005	- تلف الكبد والكليتين .	زراعية : معقمات التربة . صناعية : محلفات صناعة البويات والمعقمات والبنزين المضاف إليه رصاص .	- تهويـــــه . - الكربون المنشط المحبب.

جدول (2): مصادر ومخاطر والتركيز المسموح به للمواد العضوية المتطايرة الملوثة للماء .

الملوثـــــات	أقصى تركيز مسموح (CML mg/l)	المخاطر	المصـــــادر	طرق المعالجة
1,1-Dichlotoethane	0.007	- أمراض السرطان . - تأثير ضار على الكبد والكليتين .	تجمعات سكنية : البلاستيكات والأصباغ والعطور والبويات.	- كربون منشط محبب - التهويـــــة .
1,2-Dichloropro pane	0.005	- تأثير على الرئة والكلى والكبد .	الزراعية : معقمات التربة. صناعية : مخلفات صناعة المذيبات .	- كربون منشط محبب . - التهويـــــة .
Ethylbenzene	0.7	- تأثير ضار على الجهاز العصبى والكبد والكلى	زراعية : مبيدات حشرية . صناعية : مخلفات صناعية الكيماويات .	- كربون منشط .
Monochlorobenzene	0.1	- تأثير ضار على الجهاز العصبى والكبد والكلى .	زراعية : مبيدات . صناعية : المذيبات .	- كربون منشط . - التهويـــــة .
O-Dichlorobenzene	0.6	- تأثير ضار على الكبد والرئة والكلى .	صناعية : البويات ومنظفات المحركات و الأصباغ .	- كربون منشط . - التهويـــــة .
Para-Dichlorobenzene	0.075	- مسبب لأمراض السرطان .	تجمعات سكنية : معطرات الجوومذيل الروائح .	- الكربون المنشط .
O-,M-,P-xylenes	10	- تأثير ضار على الجهاز العصبى والكبد والكلى .	تجمعات سكنية : البويات والمنظفات. صناعية : نواتج تكرير الجازولين .	- كربون منشط . - التهويـــــة .

جدول (3): مصادر ومخاطر والتركيز المسموح به للمواد العضوية المتطايرة الملوثة للماء .

الملوثـــــات	أقصى تركيز مسموح mg/l(CML)	المخاطر	المصـــــادر	طرق المعالجة
Styrene	0.1	- تلف الكبد .	صناعية : صناعة البلاستيك والمطاط الصناعى والعوازل الراتينجية .	- كربون منشط .
Trans-1,2,-Dichloroethylene	0.1	- مسبب لأمراض السرطان .	صناعية : مخلفات صناعة المذيبات.	- كربون منشط . - التهويـــــة .
Toluene	1	- تأثير ضار على الجهاز العصبى والكبد والكلى .	صناعية : إضافات للجازولين – صناعة المذيبات .	- كربون منشط . - التهويـــــة .
1,2,4-Trichloro ben zene	0.07	- تغيرات فى الغدد .	زراعية : مبيدات حشائش . صناعية : صناعة المبيدات . مخلفات مصانع النسيج والصباغة .	- كربون منشط .
1,1,1-Trichloroethane	0.2	- مسبب للسرطان . - تدمير الجهاز العصبى .	صناعية : مخلفات صناعة الغراء والايروسولات – النسيج البويات .	- كربون منشط .
1,1,2-Trichloroethane	0.005	- تلف الجهاز العصبى والكلى والكبد .	صناعية : مخلفات صناعة الكيماويات العضوية والمذيبات .	- الكربون المنشط .
Trichloroethylene	0.005	- مسبب لأمراض السرطان .	صناعية : مخلفات صناعة النسيج والمواد اللاصقة .	- الكربون المنشط . - التهويـــــة .
Vinyl Chloride	0.002	- مسبب لأمراض السرطان .	تجمعات سكنية : غسيل من مواسير البولى فينيل PVC – المذيبات .	- الكربون المنشط .
Tetrachloroethylene	0.005	- مسبب لأمراض السرطان	صناعية : مخلفات التنظيف – الجاف والمذيبات الأخرى	- الكربون منشط

الملوثات الأخرى للماء

مصادر الملوثات الأخرى للماء .

الملوثـــــات	زراعية	تجمعات سكنية	صناعية	طبيعية
القلويـــــة		✓	✓	
المنظفـــــات	✓	✓		
البكتريـــــا	✓	✓		✓
الانجراف والترسيب	✓		✓	
عســــر الماء				✓
الراديـــــوم			✓	✓
الأمـــلاح الكلية الذائبة	✓	✓	✓	✓

جدول (1) : مصادر ومخاطر والتركيز المسموح به للملوثات الأخرى للماء .

الملوثـــــات	أقصى تركيز مسموح (CML) mg/l	المخاطر	المصـــــادر	طرق المعالجة
١- القلويــــــة	60	- إنخفاض القلوية (إرتفاع الحموضة) يسبب تآكل المواسير وإذابة العناصر الثقيلة التى قد تكون موجودة بها .	تجمعات سكنية : مواسير المياه - أماكن تجميع المخلفات . صناعية :المخلفات الخطرة والتى يتم التخلص منها فى أماكن تجميع المخلفات Land fills.	- كربون منشط المحبب . - التهويــــــة .
٢- المـــنظفات	0.5	- أمراض الجهاز الهضمى .	الزراعية : نظام تجميع الملوثات septic system . تجمعات سكنية : مياه الصرف الصحى .	- كربون منشط المحبب . - التهويــــــة .
٣- بكتريا Coliform	0	- أمراض الجهاز الهضمى .	زراعية : نظام تجميع الملوثات - أماكن تربية الحيوان وأماكن تجمع الأسمدة الحيوانية . تجمعات سكنية : مياه الصرف الصحى .	- كربون منشط .
٤- إنجراف وترسيب	أقل ما يمكن	- سد خياشيم الأسماك . - حجب أشعة الشمس عن النباتات المائية . - يخفض من طول العمر الإقتصادى للبحيرة. - سد المرشحات . - تلف أدوات الرى . - خفض جودة مياه الشرب .	زراعية : الأرضى الزراعية . تجمعات سكنية : بناء مساكن جديدة . صناعية : مواقع البناء .	- كربون منشط . - التهويــــــة .
٥- العســـر	—	- ترسيبات ملحية على المعدات ونظام الماء الساخن .	طبيعية : ذوبان أملاح الكالسيوم والمغنسيوم من التربة والتكوينات الجيولوجية الجيرية الحاملة للماء .	- كربون منشط . - التهويــــــة .

٦- الراديـــــوم	5 pc/l	- فقر الدم . - المياه البيضاء فى العين . - سرطان العظام . - خلخلة الأسنان .	طبيعية : تجمعات سكنية :	- الأسموزية العكسية . - التبادل الأيونى .
٧- الأملاح الكلية الذائبة	500 mg/l	- عسر الماء . - ترسيبات ملحية . - ماء عكر ملون . - رائحة - مذاق ملحى أو مر . - تآكل مواسير المياه .	زراعية : مخلفات الحيوان - نظام تجميع الملوثات الآدمية Septic system . تجمعات سكنية : أماكن تجميع المخلفات الخطرة . طبيعية : معادن ذائبة والحديد والمنجنيز .	- الترشيح الميكانيكى . - الكلوره .

DNAPLs

يوجد نوع خطر من الملوثات الكيميائية يطلق عليه السائل الكثيف الذى لا يذوب فى الماء Dens Non-Aqueous Phase Liquids DNAPLs وهذه المواد الكيمائية تستخدم فى التنظيف الجاف للملابس – عمليات رصف الطرق – حفظ الأخشاب – إصلاح وصناعة السيارات – المعدات الكهربائية .

وهذه المواد أكثر كثافة من الماء ولذلك فهى تغرق بسرعة إلى أسفل وهذا يجعل تسرب هذه المواد إلى المياه الجوفية أكثر . خطورة حتى من المشتقات البترولية .

فعند تلوث الماء الجوفى بالمشتقات البترولية يذوب جزء من هذه المركبات فى الماء ويجعله غير صالح للأستخدام .

تلوث التكوينات الجيولوجية الحاملة للماء Aquifers يجعلها غير صالحة للاستخدام لعقود طويلة وذلك لأن زمن المكوث residence time للماء الجوفى يتراوح بين أسبوعين وعشرة آلاف عام . كما أن المشكلة لا تنتهى بفقد الإمداد المائى من بئرما ملوث ولكنها تمتد إلى المياه السطحية . فقد أوضحت الدراسات تحرك الملوثات من موقع التلوث إلى مواقع قريبة من البحار والأنهار وهذا متوقع لأن الماء الجوفى جزء من الدورة الهيدرولوجية وإن كان جزء كبير من هذه الحركة غير مفهوم تماماً .

وبوجه عام فإن الحل الأمثل والعملى لتلوث الماء الجوفى هو منع حدوث التلوث وهذا يمكن تحقيقة عن طريق الأدارة الفعالة للماء الجوفى بتضافر جهود الحكومة ورجال الصناعة وكل فرد فينا . وهذا بالطبع يستلزم وجود قيادات

علمية خبيرة بالماء الجوفى وأيضا توفر المعلومات وقاعدة بيانات عن المياه الجوفية على المستويات المحلية والعالمية .

الماء الجوفى والدراسات الهندسية

الماء الجوفى له تأثير كبير على الدراسات الهندسية والجيوتكونولوجية . فدراسه الماء الجوفى ضرورية للمهندسين عند إنشاء السدود والأنفاق والقنوات لأن الماء الجوفى يجب أن يؤخذ فى الأعتبار عندما تكون الحاجة ملحة إلى وجود ثبات فى الميل سواء كان هذا الميل طبيعيا أو إنشائيا .

يجب أيضا مراعاة الماء الجوفى عند عمل إنشاءات خاصة بالتحكم فى الفيضان وذلك لأن حركة الماء وما يتبعه من ضغط يمكن أن يسبب العديد من المشاكل وعلى سبيل المثال يمكن للماء الجوفى أن يعمل على إضعاف الإنشاءات بالنسبة للسدود أو قد يتحرك تحت الأرض ويأخذ مساره حول الجسم المقام كما حدث فى سد Jerom بأيداهو بالولايات المتحدة الأمريكية . حيث حدث سريان للماء خلال التكوينات الصخرية المحيطة بالخزان لدرجة أن السد أصبح لا يخزن خلفة أى مياه على الرغم من أن إنشاؤه تم بطريقة علمية سليمة.

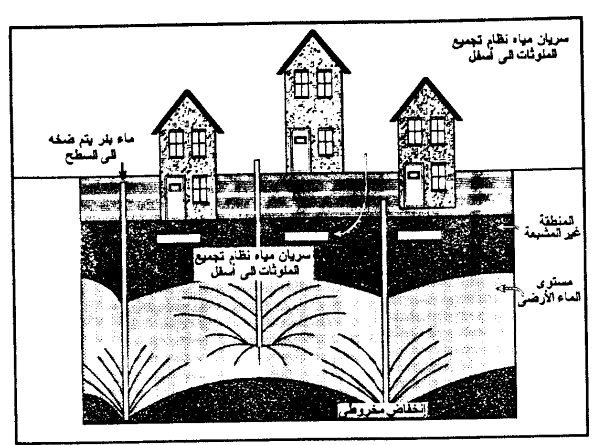
عند إقامة سد Revelstoke فى British Columbia أكتشف العلماء وجود Land slide قديم على الضفة المقترح إقامة الخزان عليها وخشية أن الماء المخزون قد يزيد من ضغط الماء الجوفى بدرجة تجعل الإنزلاق الأرضى Land slide غير ثابت فقد رأى العلماء زيادة الصرف حول الغالق Slide لضمان عدم زيادة ضغط الماء الجوفى . ولتوضيح أهمية دراسة الماء الجوفى وأخذه فى الاعتبار عند إقامة المشروعات الهندسية المائية فإن نفس الظروف

السابقة ذكرها حدثت عند خزان Vaiont بإيطاليا وتسبب الفالق Slide فى قتل 2500 شخص وذلك لأن ضغط الماء الجوفى لم يؤخذ فى الأعتبار .

الافراط فى استهلاك الماء الجوفى وسحب كميات مياه من التكوينات الجيولوجية الحاملة للماء aquifer أسرع من الكميات التى يمكن تعويضها طبيعيا يؤدى إلى مشكلتين :

١) نقص فى الماء .

٢) إنخفاض مستوى سطح الأرض فى هذه المنطقة Subsidence وهذا ما حدث فى مدينة Mexico حيث أنخفض سطح الأرض فيها حوالى عشرة أمتار خلال سبعون عاما وهذا بالطبع أدى إلى مشاكل كبيرة فى نظام الإمداد بالماء وكذلك نظام الصرف الصحى بهذه المدينة . وفى أوتاوا Ottawa بكندا عام 1970 إنخفضت منطقة سكنية بالكامل عندما تم إنشاء محطة تجميع مياه الصرف الصحى بالقرب من هذه المنطقة وقد أدى ذلك إلى تدمير مساكن هذه المنطقة .



تأثير تكدس المنازل على مستوى الماء الجوفى

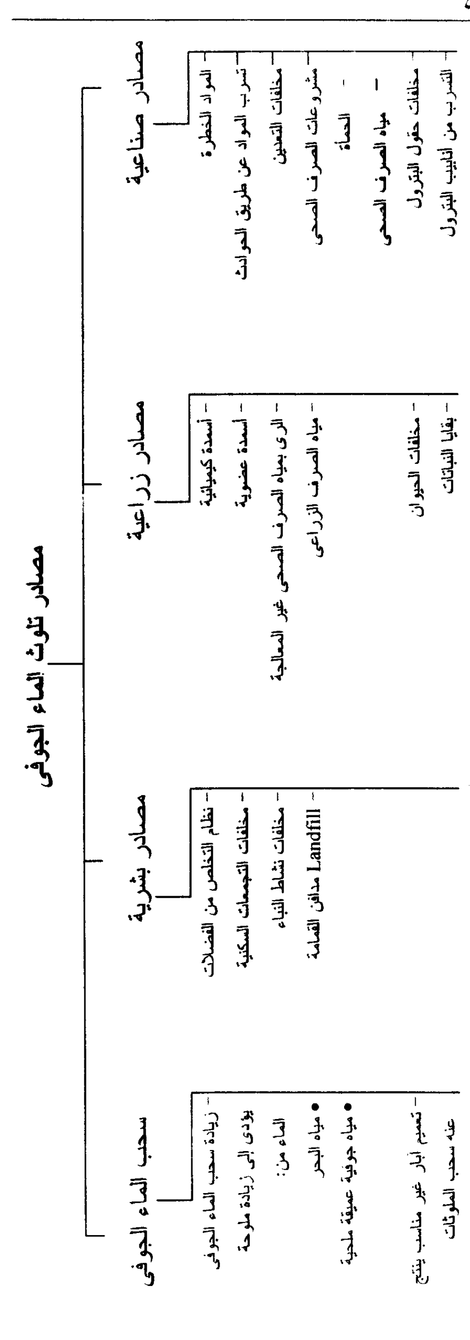
حماية مصادرنا من المياه الجوفية

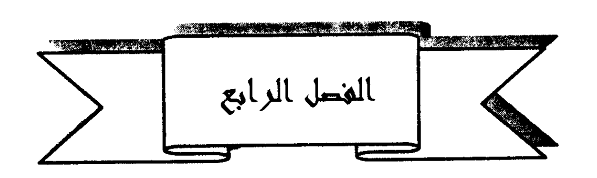
مما سبق نعلم جميعا أن الماء الجوفى مصدر هام وضرورى ويتواجد فى أراضينا فى كل مكان كما أنه متصل بمصادرنا المائية السطحية لذلك فإن تلوث المياه الجوفية سوف ينتج عنها مشاكل كثيرة الآن وفى المستقبل لأننا نعلم أن الماء الجوفى يتحرك ببطء شديد ولذلك فالمشاكل التى تنجم عن تلوثه تأخذ وقت طويل للظهور .

تنظيف التكوينات الجيولوجية الحاملة للماء الجوفى عملية تعتبر مستحيلة حتى وإن كانت ممكنه فهى مكلفة للغاية . لذلك فالحل الأفضل والأمثل هو منع حدوث التلوث فمثلا يمكن منع التلوث عن طريق التسرب من مخازن الوقود والمنتجات البترولية تحت الأرض وذلك بإحلال الصهاريج القديمة المتآكلة بأخرى جديدة مقاومة للتآكل Corrosion . اختيار مناطق التخلص من المخلفات

Landfills بعناية وعزل هذه المناطق بحيث أن النواتج السائلة منها لا تلوث الماء الجوفى .

يجب أيضا تضافر جهود الحكومة على جميع المستويات لتشريع القوانين وتطبيقها لحماية مصادرنا المائية وفى نفس الوقت يجب على مراكز البحوث والجامعات دراسة أهم السبل لحماية وصيانة مياهنا الجوفية كما على الأفراد جميعا أن يعوا جيدا إمكانية تلوث المياه الجوفية وضرر ذلك علينا جميعا . فالمياه الجوفية هامة لنا تماما مثلها مثل نهر النيل فهى وإن كانت غير مرئية إلا أنها كنز يخصنا جميعا ويجب ألا ننساها ونحافظ عليها .


مصادر تلوث الماء الجوفى
مصادر صناعية
- المواد الخطرة
- تسرب المواد عن طريق الحوادث
- مخلفات التعدين
- مشروعات الصرف الصحى
- الحمأة
- مياه الصرف الصحى
- مخلفات حقول البترول
- التسرب من أنابيب البترول
مصادر زراعية
- أسمدة كيميائية
- أسمدة عضوية
- الرى بمياه الصرف الصحى غير المعالجة
- مياه الصرف الزراعى
- مخلفات الحيوان
- بقايا النباتات
مصادر بشرية
- نظام التخلص من الفضلات
- مخلفات التجمعات السكنية
- مخلفات نشاط البناء
- Landfill مدافن القمامة
سحب الماء الجوفى
- زيادة سحب الماء الجوفى
يؤدى إلى زيادة ملوحة
الماء من:
• مياه البحر
• مياه جوفية عميقة ملحية
- تعميم آبار غير مناسب ينتج
عنه سحب الملوثات



النترات والماء الجوفي

- ❖ إعتبارات صحية .
- ❖ النترات فى المياه الجوفية .
- ❖ الممارسات الزراعية المثلى لإدارة النيتروجين بغرض حماية الماء الجوفى من التلوث .
- ❖ ملخص الخطوات الواجب مراعتها عند التسميد النيتروجينى لحماية الماء الجوفى .



النترات والماء الجوفي

يعتبر النترات من أهم المواد التي تلوث المياه الجوفية فيوجه عام وبتحليل كثير من الآبار على المستوى العالمي إتضح زيادة مستويات النترات في هذه الآبار عن المستويات المسموح بها في مياه الشرب .

اعتبارات صحية

- الإنســـان

يصل أيون النترات إلى الإنسان عن طريق الغذاء والماء وفى الأشخاص البالغين يتم هضم وامتصاص النترات وتطرد خارج الجسم عن طريق البول . ويمكن للأشخاص البالغين الأصحاء استهلاك كميات كبيرة من النترات بدون أي أضرار صحية .

أما الأطفال الرضع الأقل من ست شهور عمراً فهم عرضة للتسمم النتراتى حيث أن البكتريا الموجودة في جهازهم الهضمي عند الولادة لها المقدرة على تحويل النترات إلى النيتريت (NO_2) السام . فالجهاز الهضمى للأطفال الرضع يحتوى على كمية قليلة جداً من الحمض ولذلك فهم يعتمدون

على البكتريا كليه فى هضم الطعام . وبوجه عام فعندما يصل عمر الأطفال إلى سته شهور فإن مستوى حمض الهيدروكلوريك فى الجهاز الهضمي يزيد وتقل البكتريا التي تعمل على تحويل النترات إلى نيتريت .

وترجع خطورة تحول النترات إلى نيتريت فى الجهاز الهضمي للأطفال الرضع إلى دخول النيتريت في مسار الدم وتفاعلها مع الهيموجلوبين الحامل للأكسجين ويتكون مركب جديد يعرف بالميثيموجلوبين methemoglobin وهذا المركب يعوق قدرة الدم على حمل الأكسيجين ونتيجة لذلك تقل مستويات الأكسيجين فى الدم ويظهر على الطفل الرضيع أعراض الاختناق وزرقة في أنحاء الجسم وخاصة حول العين والفم وهذا المرض يطلق عليه "الطفل الأزرق" "methemoglobinemia" ويسبب موت حوالي 70% من الأطفال الرضع المصابين بهذا المرض . لذلك يجب معالجة الطفل سريعا عند ظهور هذه الأعراض ويوصى الأطباء باستخدام المياه المعبأة في زجاجات للأطفال عندما يزيد مستوى النترات فى مياه الشرب عن 10 جزء فى المليون .

تتفاعل النترات مع المركبات العضوية (الأمينات الثانوية) مكونة مركبات N-nitrosamines المسببة للسرطان . وكثير من المركبات العضوية شاملة المبيدات يمكنها أن ترتبط مع النترات فتكون مركبات البيتروز آمين وهذا شئ هام للغاية وخطير لأن كثير من الآبار التى تحتوى على مستويات عالية من النترات تكون عرضة للتلوث بالمبيدات .

الحيوانات:

التسمم النتراتى يمكن أن يحدث لحيوانات اللحوم مثل الماشية والأغنام لأن البكتريا فى أجهزتها الهضمية تعمل على تحويل النترات إلى النيتريت السام . أما الدواجن فلا يحدث لها تسمم لأن النترات يتم التخلص منه مباشرة عن طريق البول .

وأعراض التسمم النتراتى في الحيوانات تشتمل عدم القدرة على التوافق وصعوبة التنفس وزرقة الغشاء المخاطي والقيء والإجهاض . وتقل إنتاج الألبان فى الأبقار المصابة دون ظهور أعراض مرضية عليها .

معايير استخدام المياه معروفة المحتوى من النترات

نيتروجين نترات (NO_3-N)	نترات	التوصيات
جزء فى المليون		
0-10	0-44	آمن للإنسان والحيوان
11-20	45-88	أمن للحيوان والبالغين ولا يستخدم للرضع
21-40	89-176	- استخدام قصير المدى للبالغين والماشية شريطة عدم احتواء الغذاء على مستويات عالية من النترات . - لا يستخدم للرضع .
41-100	177-440	- متوسط – عالي الخطورة للاستخدام بواسطة البالغين والماشية . - يمكن استخدامه للماشية على ألا يحتوى العليقة على تركيزات عالية من النترات . - لا يستخدم للرضع .
أعلى من 100	أعلى من 440	لا يستخدم

- إختبار الماء

عند الشك فى وجود النترات في مياه الشرب فيجب إجراء اختبار كيماوي للنترات حيث أنه يعتبر الوسيلة الوحيدة لتقدير النترات في الماء فالنترات فى الماء تكون عديمة اللون والطعم والرائحة . وأغلب المعامل تقدم تقديرها عن النترات باستخدام جزء فى المليون ويتحول NO_3-N إلى NO_3 نترات يجب الضرب فى معامل 4.4 (10ppm NO_3-N = 44 ppm NO_3).

النترات فى المياه الجوفية

- مصادر النترات

محتوى الأرض المنزرعة يترواح من 10000 - 3000 كجم نيتروجين عضوي في الهكتار ومن المعروف أن النباتات لا تستطيع استخدام النيتروجين الموجود في صورة عضوية مباشرة ولذلك فتحلل المادة العضوية ينتج عنه انطلاق النيتروجين في صورة نترات وهذه الصورة يمكن للنبات امتصاصها. وتحولات النيتروجين من الصورة العضوية إلى الصورة المعدنية تحدث فى جميع الأنظمة الطبيعية مثل أراضى الحشائش والأراضي الزراعية .

تشمل صور الأسمدة النيتروجينية العضوية مخلفات الحيوانات والإنسان والحمأة والمحاصيل البقولية والأسمدة الخضراء أما الأسمدة المعدنية فتحتوى على النيتروجين في صورة نترات .عادة لا تستهلك النباتات جميع النيتروجين الموجود في الأسمدة الكيميائية أو العضوية المضافة ولذلك فعندما يزيد النيتروجين المضاف كسماد عن حاجة النبات فإنه يتجمع في التربة ويتبع ذلك فقد للنيتروجين فى صورة نترات ويتم ذلك عن طريق الغسيل ويمر خلال قطاع التربة ويذهب إلى المياه الجوفية . وفقد النترات عن طريقة الغسيل يتوقف بدرجة كبيرة على نوع التربة وكمية الأمطار المتساقطة والمياه المستخدمة في الري . ولذلك فإن الاستخدام غير المقنن للأسمدة النيتروجينية يؤدى حتما إلى زيادة معدل حركة النترات خلال قطاع التربة ويزيد من احتمالات تلوث المياه الجوفية بالنترات .

الممارسات الزراعية المثلى لإدارة النيتروجين بغرض حماية الماء الجوفي من التلوث

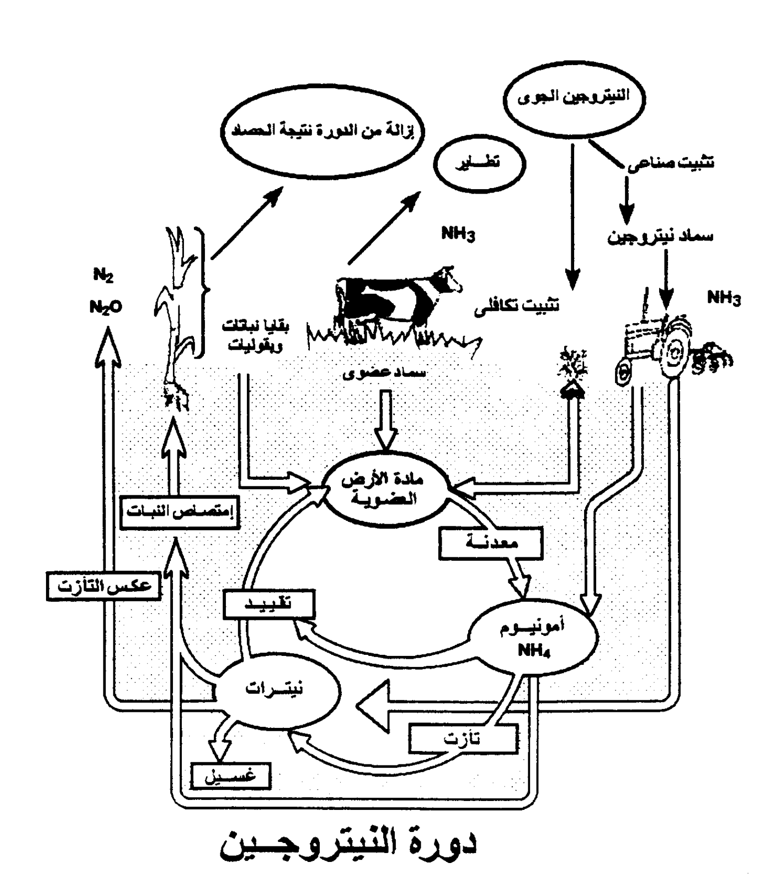
دورة النيتروجين

يعتبر النيتروجين من العناصر الضرورية لحياه النبات والحيوان . ويطلق على تفاعلات النيتروجين في الأرض باسم دورة النيتروجين (شكل4-1) . وبوجه عام فإن الزراعة تؤثر على كميات النيتروجين المضافة إلى الأرض أو المستنزفة منها وتشمل كميات النيتروجين المضافة إلى التربة الأسمدة النيتروجينيه – بقايا النباتات – النتروجين المثبت بواسطة البقوليات والمخلفات الحيوانية . أما كميات النيتروجين المستنزفة من التربة نتيجة الزراعة فتشمل حصاد المحاصيل ، امتصاص النبات وغسيل النيتروجين من التربة .

وتبعا للمقاييس العالمية فإن مياه الشرب يجب ألا تحتوى على أكثر من 10ppm (NO_3-N) ولأن مصادر تلوث المياه الجوفية تشمل الأسمدة النيتروجينية والمخلفات العضوية فإن الإدارة المثلى للتسميد النيتروجينى يجب توظيفها للحد من التلوث النتراتى للمياه الجوفية وتشمل:-

أ – تحليل دورى لعينات التربة

أخذ عينات التربة وتحليلها تعد أحد الخطوات الهامة فى الإدارة المثلى للنيتروجين التى تأخذ فى الأعتبار كمية النيتروجين المتاح للنبات والتى تتواجد بالفعل فى القطاع الأرضى . عينات التربة المتحصل عليها توخذ ٣-٤ أسابيع قبل الزراعة وتكون هذه العينات ممثلة للحقل وتؤخذ على عمق مناسب ويتم تحليلها بالنسبة للنيتروجين على أن تتكرر هذه التحليلات كل عام .



شكل (4-1): دورة النيتروجين

ب- التوصيات السماديه

إضافة الأسمدة النيتروجينية للأرضى يجب أن يتم بناءاً على توصيات الأسمدة لكل منطقة ولكل محصول . وبوجه عام فإن التوصيات السمادية تأخذ فى الأعتبار النيتروجينى المتبقى فى قطاع التربة وكمية النيتروجين المتحرر من المواد العضوية خلال نمو المحصول والمحصول المرغوب الحصول عليه وأيضا النيتروجين المتحرر من بقايا المحصول السابق .

ت- توقيت إضافة السماد

يعتبر توقيت إضافة السماد عامل هام ومؤثر فى المحصول وكفاءة إضافة الأسمدة النيتروجينية والعائد الأقتصادى للمحاصيل وذلك لأن الفترة بين إضافة السماد النيتروجينى وإمتصاص المحصول للنيتروجين تعتبر فترة حرجة .

فإضافة السماد النيتروجينى فى توقيت غير مناسب ينتج عنه فقد النيتروجين على صورة نترات خلال عملية الغسيل إلى الماء الجوفى والإدارة الصحيحة لإضافة الأسمدة النيتروجينية تشمل :

١) إضافة النيتروجين فى الربيع وذلك للمحاصيل الشتوية .

٢) إضافة جزء من الإحتياجات السمادية النيتروجينية للتربة قبل الزراعة.

٣) إضافة السماد النيتروجينى على دفعات بدلا من دفعة واحدة .

٤) إضافة السماد النيتروجينى على جانب الخط فى الأراضى المروية .

٥) إستخدام إختبارات التربة لتحديد إحتياجات المحصول من السماد النيتروجينى .

ث- طريقة إضافة السماد

تلعب طريقة إضافة الأسمدة النيتروجينية دورا هاما فى زيادة كفاءة إدارة

المحاصيل . فالطريقة الصحيحة لإضافة الأسمدة غالبا ما تزيد من كفاءة إمتصاص النبات للمغذيات وبالتالى تؤدى إلى زيادة المحصول الأعظم . ويتضح أهمية طريقة إضافة الأسمدة بصفة خاصة عند الزراعة تحت نظم الحرث المختزل .

والإدارة الصحيحة لطريقة إضافة الأسمدة تشمل:-

١) إضافة النيتروجين أسفل البذرة عند الزراعة .

٢) إضافة جزء قليل من السماد النيتروجينى مع البذرة عند الزراعة .

٣) إضافة النيتروجين تكبيشا على سطح التربة فى الأراضى التى يمثل الغسيل فيها مشكلة محتملة .

ج- الإمداد النيتروجينى من البقوليات والأسمدة العضوية

يتطلب الأستخدام الأمثل للأسمدة النيتروجينية أن يؤخذ فى الإعتبار النيتروجين المضاف للتربة عن طريق الأسمدة العضوية المضافة وكذلك النيتروجين المثبت بواسطة المحاصيل البقولية . ولقد أوضحت الأبحاث أن الأسمدة العضوية يمكنها الوفاء بقدر كبير من الإحتياجات النيتروجينية للمحاصيل . بالإضافة إلى ذلك فإن محاصيل العائلة البقولية مثل البرسيم يمكنها أن تمد المحصول الثانى فى الدورة الزراعية بحوالى 100 كيلو جرام نيتروجين تقريباً . ولذلك فإن الأخذ فى الأعتبار الإمداد النيتروجينى الناتج عن الأسمدة العضوية والمحاصيل البقولية عند التسميد بالأسمدة النيتروجينية يمكن أن يخفض من معدل إضافة هذه الأسمدة بدرجة كبيرة وبالتالى نتجنب التسميد الزائد عن حاجة النبات .

ح- مثبطات النترته

تعمل مثبطات النترته على منع تحول النيتروجين الذى على صورة أمونيوم (غير ذائب نسبياً) إلى الصورة النتراتية (شديدة الذوبان) فى الأراضى الزراعية ولقد أوضحت الأبحاث فعالية مثبطات النترتة خاصة عند إضافتها فى الشتاء أو فى بداية فصل الربيع .

خ- إدارة الأسمدة العضوية

غالبا ما ينظر إلى الأسمدة العضوية على أنها مخلفات يجب التخلص منها والحقيقة أن الأسمدة العضوية تعتبر مصدرا هاما لإمداد التربة بالعناصر الغذائية . فالسماد العضوى يمكن أن يمد المحاصيل بكميات كافية من العناصر الغذائية كما أن إضافة المادة العضوية إلى الأراضى تعمل على تحسين بناء التربة وقدرتها على الإحتفاظ بالماء . لذلك يجب علينا إستخدام هذه الأسمدة بكفاءة والإستفادة منها .

د - إدارة نظم الرى

يعتبر الإسراف فى مياه الرى من العوامل الرئيسية المسببة لزيادة مستوى النترات فى الماء الجوفى ولذلك فيجب على المزارعين حماية الماء الجوفى وذلك بالأخذ فى الأعتبار ما يلى :

١) إضافة الكمية الفعلية من مياه الرى التى يحتاجها النبات وذلك لخفض الغسيل .

٢) الأخذ فى الأعتبار تركيز النترات فى مياه الرى عند إضافة الأسمدة النيتروجينية .

٣) إتباع نظام رى كفؤ بالأخذ فى الأعتبار مقدرة التربة على إمتصاص الماء ، مرحلة نمو المحصول ، معدل البخر والأمطار والرى السابق وذلك لتحديد وقت وكمية مياه الرى الواجب إضافتها للمحصول .

ر- الأسمدة النيتروجينية بطيئة التحرر

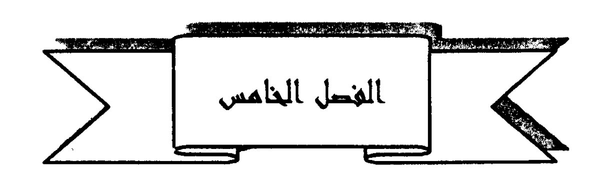
إستخدام الأسمدة النيتروجينية بطيئة التى غالبا ما تحسن كفاءة إستخدام الأسمدة بنسبة لا تقل عن 30% ولكن يعيب هذه الأسمدة إرتفاع أسعارها عن الأسمدة التقليدية مما يزيد تكلفة إضافة الأسمدة بحوالى 40% بالمقارنة بالأسمدة التقليدية .

س- إختيار دورات زراعية

زراعة المحاصيل فى دورات له تأثير كبير على حركة النيتروجين فى التربة . فالمحاصيل البقولية على سبيل المثال لا تحتاج إضافة كميات كبيرة من الأسمدة النيتروجينية حيث أن لها المقدرة على إستخلاص النيتروجين الموجود فى التربة والناتج من تسميد المحصول السابق . بالإضافة إلى أن زراعة محاصيل ذات إحتياج نيتروجينى منخفض بالتناوب مع محاصيل ذات إحتياجات نيتروجينية عالية يؤدى فى النهاية إلى خفض كميات النيتروجينى الكلية المضافة إلى التربة .

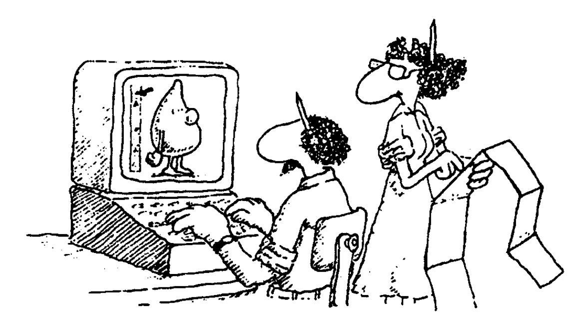
ملخص الخطوات الواجب مراعاتها عند التسميد النيتروجينى لحماية الماء الجوفى :

- استخدام نتائج اختبارات التربة والنبات لتحديد الإضافات المثلى للنيتروجين.
- ربط [illegible] الأسمدة [illegible]روجينية المضافة بالمحصول الواقعى المراد الوصول إليه .
- الأخذ فى الاعتبار النتروجين المثبت بواسطة البقوليات عند تسميدها .
- إضافة الأسمدة النيتروجينة تبعا لإحيتاجات النبات .
- عدم إضافة الأسمدة النتروجينية فى الشتاء للأراضى خشنة القوام أو الأراضى ذات القطاع الأرضى الضحل أو الأراضى القريبة من الماء الأرضى .
- استخدام الأسمدة بطيئة التحرر إذا كانت ظروف الغسيل للأراضى عالية .
- إضافة الأسمدة العضوية تبعا للإحتياجات الغذائية للمحصول .
- اتباع الإدارة السليمة للتسميد مع الرى .
- اتباع الدورة الزراعية ما أمكن .
- إتباع نظام رى كفؤ لتقليل الغسيل .



تقنيات معالجة تلوث الماء الجوفي

- طرق معالجة التربة .
- طرق معالجة الماء الجوفى .
- تقنيات معالجة الماء الجوفى .   .
- دراسة حاله إزاله المنجنيز من الماء الجوفى فى محافظة البحيرة - جمهورية مصر العربية .







تقنيات معالجة تلوث الماء الجوفي

عندما نتعامل مع تلوث الماء الجوفي فيجب أن نأخذ في الاعتبار المناطق المشبعة والغير مشبعة . ففي أغلب الأحوال فإن المنطقة المشبعة الملوثة في التربة تعمل كمصدر ثانوي للتلوث ولذلك يجب إدراجها عند إجراء عمليات المعالجة . كما يجب أن نتذكر أن طريقة واحدة للمعالجة قد تكون غير كافية وقد يتطلب الأمر استخدام أكثر من طريقة . علما بأن معدل النجاح في معالجة الطبقات الحاملة للماء والملوثة والحفاظ على صفاتها هو ضئيل جداً للأسباب التالية :-

١) الاختلافات كبيرة جداً في الطبقات الحاملة للماء وكذلك المعايير الجيوهدرولوجية .

٢) عدم كفاية المعلومات عن التفاعلات التي تحدث بين الملوثات والتركيبات الجيولوجية .

٣) عدم كفاية المعلومات الهندسية الواجب توافرها عن التصميم المطلوب من أجل نجاح المعالجة .

I - طرق معالجة التربة

إزالة الملوثات من التربة Soil Decontamination

يوجد العديد من المحاولات لإزالة الملوثات من التربة وذلك باستخدام تقنيات مختلفه (جدول 5-1) . وللأسف فإن هذه التقنيات غير كافيه لإزالة الملوثات وغالبا ما يستخدم أكثر من تقنية لتنظيف التربة حيث أن التركيب المعقد للتربه ووجود العديد من الملوثات يجعل إزالة الملوثات من التربة أمراً صعباً ومكلفاً .

تقنيات إزالة الملوثات من التربة

أ. الطرق المستخدمة في موقع التلوث In Situ Methods

وتستخدم هذه الطرق في موقع التلوث ولا يتم في هذه الطرق نقل التربة من موقعها مما يخفض من احتمالات تلوث مناطق أخرى .

١.التطاير Volatilization

وتتم هذه التقنية في الموقع وذلك عن طريق إمرار تيار من الهواء خلال أنابيب شبكيه تسمح بسريان الهواء في التربة . وفى هذه الحالة تستخدم بعض المعاملات مثل الكربون النشط activated carbon لإدمصاص الملوثات المتطايرة وهذه التقنية محدودة فقط للمركبات العضوية الكربونية المتطايرة .

٢.التحلل البيولوجي Biodegradation

وفى هذه الطريقة يتم زيادة قدرة الكائنات الحية الدقيقة على تحلل الملوثات طبيعياً وذلك عن طريق زيادة أعدادها ونشاطها . وتتأثر عمليه التحلل البيولوجي للملوثات بالصفات البيئية والكيمائية للتربه مثل الرطوبة ودرجه الحموضة pH ، درجة الحرارة والميكروبات الموجودة وصلاحية العناصر . وتتم عملية التحلل البيولوجي في التربة تحت الظروف

الهوائية وفى مدى pH تتراوح بين 5.5-8 (المثلى pH = 7) ودرجة حرارة تتراوح بين 293-313 k . ويجب أن تأخذ في الاعتبار أن الميكروبات قد تكون فعاله في تحلل ملوث ما دون الآخر .

٣.الغسيل Leaching

وفى هذه الطريقة يتم غسيل التربة بالماء وغالبا ما يستخدم أيضاً Surfactants (مادة نشطة سطحياً تتكون من مناطق محبه للماء وأخرى كارهة للماء وتعمل على تخفيض التوترالسطحى) لإزالة الملوثات . ويتم تجميع الماء بعد الغسيل باستخدام نظام تجميع ثم التخلص منه . واستخدام هذه الطريقة محدودة للغاية لأنه يتطلب استخدام كميات كبيره من الماء لإزالة الملوثات بالأضافه إلى أن التخلص من الماء وما يحتويه من ملوثات يكون مكلفاً للغاية .

وكفاءة عملية الغسيل تعتمد على نفاذية ومسامية وقوام التربة والتركيب المعدني للتربه ودرجه تجانس التربة . حيث أن كل هذه العوامل تؤثر على درجه تحرر وانطلاق desorption (release) الملوثات من التربة ومعدل غسيل الملوثات خلال التربة .

جدول (5-1) : التقنيات المختلفة المستخدمة في أزاله الملوثات من التربه

التـقـنيه	المميزات	العيوب	التكلفه النسبيه
في موقع التلوث In Situ			
- التطاير Volatilization	تستطيع إزالة المركبات المقاومة للتحلل البيولوجي	محدودة فقط للمركبات العضوية المتطايرة	منخفضة
- التحلل البيولوجي Biodegradation	فعاله بالنسبة للمركبات غير المتطايرة	تحتاج الى وقت طـويـل-long-term time frame	متوسطة
- الغسيل Leaching	يمكن استخدامها في العديد من المركبات	غير شائعة الاستخدام	متوسطة
- العزل / الاحتواء Isolation/ containment	تمنع انتقال الملوثات طبيعيا physically	لايتم التخلص من الملوثات	قليلة-متوسطة
- phytoremediation	فعالة للعناصر الثـقـيلة	تحتاج لتكنولوجيا خاصة لاستخلاص الملوثات من النبات	قليلة
في غير موقع التلوث None - in situ			
- معالجة التربه Land treatment	تستخدم عمليات التحلل الطبيعيه	يتبقى بعض الملوثات	متوسطة
- المعالجة الحر أريه Thermal treatment	يحتمل التخلص نهائيا من الملوثات	تحتاج الى معدات خاصته	عالية
- استخدام الإسفلت Asphalt incorporation	يستخدم المعدات الموجودة	أزاله غير كاملة للمركبات الثقيلة	متوسطة
- التصلب Solidification	تجعل المركبات غير متحركة	غير شائعة الاستعمال فى التربه	متوسطة
- الاستخلاص الكيميائي Chemical extraction		غير شائعة الاستعمال في التربه	عالية
- إزالة التربة Excavation	إزالة التربة من الموقع	إمكانية نقل الملوثات	متوسطة

٤.العـــزل Isolation / Containment

وفى هذه الطريقة يتم عزل الملوثات في مكانها ومنعها من الانتشار وذلك باستخدام عازل طبيعي physical barrier مثل الطين وذلك لتقليل الهجرة الأفقية. وحديثا فإن العلماء يدرسون استخدام Surfactants مع الطين وذلك لزيادة امتصاص المـــلوثات العضوية على ســـطوح هـــذه المواد وبالتالي تـــقلل من حركه الملوثات mobility of pollutants .

ب. الطرق المستخدمة بعيدا عن موقع التلوث Non- in Situ Methods

وفى هذه الطرق يتم إزالة التربة الملوثة ومعالجتها في نفس المكان أو نقلها إلي مكان آخر ثم معالجتها . ويعيب هذه الطرق احتمالات نقل التلوث إلى مناطق أخرى خلال عمليات النقل والمعالجة .

١.معالجة الأرض Land Treatment

وفى هذه التقنية يتم إزالة التربة ونشرها على مساحة من الأرض حتى يمكن للعمليات الطبيعية مثل التحلل البيولوجي والتحلل الضوئي أن تأخذ مجراها للتخلص مـــن المـــلـــوثـــات . وفى هـــذه الطـــريقـــة يتـــم ضـــبط درجـــة حمـــوضـــة التربة إلى pH = 7 لخفض حركة العناصر الثقيلة ولزيادة نشاط وفعالية ميكروبات التربة كما يتم أيضـــا إضافة المغذيات لتنشيط الميكروبات وبعد ذلك تخلط التربة الملوثة مع تربه أخرى وذلك لزيادة التلامس بن الملوثات والميكروبات وخلق ظروف هوائية .

٢.المعالجة الحرارية Thermal Treatment

وفى هذه الطريقة يتم تعريض التربة لدرجه حرارة عاليه باستخدام فرن حراري. وتعمل درجة الحرارة العالية على تكسير الملوثات وتنطلق غازات ويتم تجميع الغازات وحرقها أو استخلاصها بواسطة مذيبات .

٣.استخدام الأسفلت Asphalt Incorporation

وفى هذه الطريقة يتم إضافة الأسفلت الساخن إلى التربة وخلطها واستخدام المخلوط في رصف الطرق . وهذه الطريقه تعمل على إزالة بعض الملوثات من التربة بالتطاير والجزء الباقي يصبح غر متحرك لخلطه بالأسفلت.

٤.التصلب Solidification / Stabilization

وفى هذه التقنية يتم إضافة بعض المواد إلى التربة المزالة وذلك لتغطيتها بمادة صلبه أي أن التربة تتحول إلى ما يشبه الكبسولة encapsulated . وبعد ذلك يستخدم المخلوط في Landfill . وبذلك تصبح الملوثات غير قادرة على الحركة ويعيب هذه الطريقة أن الملوثات لم يتم التخلص منها . وغالبا ما تستخدم هذه الطرقه لتقليل التلوث بالملوثات غير العضويه .

٥.الاستخلاص الكيميائي Chemical Extraction

وفى هذه التقنية يتم خلط التربة المزا له بمذيب أو Surfactant أو مخلوط منهما . وذلك لفــصل الملوثات واستخلاصها من التربة . وبعد ذلك يتم غسل التربة للتخلص من المذيب وما يحمله من ملوثات ثم يتم ترشيح المذيب بعد ذلك ومعاملته لإزالة الملوثات وهذه التقنية عاليه التكاليف• ونادراً ما تستخدم.

٦.إزالة التربة Excavation

وفى هذه الطريقة يتم نقل التربة الملوثة إلى مكان آخر وغالبا ما يكون Landfills التى تحتوى على حواجز طبيعية تمنع حركه الملوثات . وعمليتي ازالة ونقل التربة تكلفتهما عاليه بالإضافة إلي أن نقل التربة إلي مكان آخر قد يؤدى إلي تلوث الماء الأرضي .

يتضح مما سبق أن التكنولوجيات المستخدمة لإزالة الملوثات من التربة هي فى الأعم الأغلب مضيعه للوقت ومكلفة للغاية بالإضافة إلى إمكانية خلق مخاطر إضافية للعاملين وإنتاج مخلفات ثانوية . لذلك فإنه من البديهي أن نتطلع إلى تكنولوجيا جديدة يتم تطويرها بحيث تصبح قادرة على إزالة الملوثات من مواقع التلوث بكفاءة عالية وتكلفة معقولة . وتعتبر التكنولوجيا الحيوية أحد البدائل الواعدة لإزالة الملوثات من التربة عن طريق تنشيط العمليات الطبيعية فى التربة ويمكن للنباتات أن تلعب دورا هاما فى هذا الشأن وبتكلفة بسيطة بالمقارنة إلى الخيارات الأخرى . ولذلك فسوف نتكلم فى هذا الفصل عن معالجة الأراضي الملوثة باستخدام النباتات phytoremedition .

معالجة الأراضي الملوثة باستخدام النباتات (Phytoremediation)

يستخدم phytoremediation أساسا للتعبير عن إمكانية استخدام أنواع النباتات ذات القدرة العالية على امتصاص وتجميع وتركيز مستويات عالية من العناصر فى أنسجتها وذلك لمعالجة الأراضي الملوثة . وأغلب هذه النباتات تكون عشبية محدودة النمو وتنمو فى مواقع المناجم القديمة الغنية بالعناصر . ولذلك تتركز الجهود الآن على تحسين نمو النباتات المجمعة للعناصر hyper accumulation لاستخدامها فى معالجة الأراضي الملوثة . ومن الناحية الأخرى ولمحدودية المجموع الخضري للنباتات المجمعة للعناصر فإنه يجرى دراسة استخدام وتقييم بدائل من النباتات ذات المجموع الخضري الكبير مثل الأشجار والحشائش لاستخدامها فى المعالجة على الرغم من ضعف مقدرة هذه النباتات نسبيا على تجميع العناصر بالمقارنة بالنباتات العشبية الأخرى .

مجال استخدام النباتات في معالجة الأراضي الملوثة في الوقت الحاضر أصبح أكثر اتساعا ليشمل جميع العمليات التي تستخدم فيها النباتات بهدف

احتواء (عزل) أو إزالة الملوثات مثل خفض حركة وتحلل وتطاير الملوثات غير العضوية مثل العناصر الثقيلة والنظائر المشعة والملوثات العضوية .

وفى هذا الفصل سوف يتم التركيز على استخدام النباتات بجميع أنواعها بما فى ذلك المحاصيل الحقلية في معالجة الأراضي الملوثة بالمواد العضوية وغير العضوية . ولما كانت المعالجة النباتية للأراضي الملوثة تعتبر تقنية جديدة فإن معظم الدراسات التي أجريت عليها هي عبارة عن تجارب معملية أو تجارب صوبه أو تجارب حقليه على نطاق ضيق كان الغرض منها اختبار وتطوير هذه التقنية الجديدة .

II – طرق معالجة الماء الجوفي

عندما يتسرب أي ملوث إلى باطن الأرض فهو يتحول إلى واحد أو أكثر من الصور التالية : (صورة غازية – صورة سائلة – صورة مد مصه على التربة – صورة ذائبة في الماء الجوفي . علما بأن الصورة الذائبة في الماء الجوفي ذات علاقة وثيقة بالصور الثلاثة الأخرى مما يجعل المعالجة أمر معقداً وصعباً وتتحصر تقنيات معالجة الماء الجوفي في ما يلي :

١) نظام الضخ والمعالجة

ويستخدم هذا النظام لإزالة الملوثات تحت ظروف مختلفة فهذه التقنية تعمل على إزالة الماء الجوفي الملوث من تحت سطح التربة عن طريق استخدام آبار الاستخلاص Extraction wells وذلك لرفع المياه الملوثة إلى السطح حتى يتم معالجتها . أيضاً بعد ضخ المياه إلى السطح يتم دراسة الخواص الفيزيائية والكيميائية للملوثات حتى يتم اختبار الطريقة المناسبة للمعالجة ويستخدم في نظام الضخ والمعالجة نوعين من الآبار :

النوع الأول آبار الشفط : وتستخدم في المواقع القريبة من السطح فى حدود 8-5 متر .

النوع الثاني الآبار العميقة : وهى تستخدم عندما تكون الطبقات الحاملة للماء الجوفي على بعد أكبر من 8 متر من سطح التربة .

ولقد أثبت أن فعالية نظام الضخ والمعالجة محدود بإزالة التركيزات المعالجة من الملوثات من الماء الجوفي أو من الأماكن القريبة من مصادر التلوث وهذا يرجع أساسا إلى العوامل التالية :

I) نظام تدفق الماء في أغلب الطبقات الحاملة للماء الجوفي غير متجانس . بالإضافة إلى أن نظام الضخ والمعالجة يعتمد على تجميع المياه التي تحتوى على الملوثات ولا تزيل الملوثات المدمصة على التربة والتي تمثل مصدراً رئيسيا للملوثات .

II) الملوثات التي تظل لفترة طويلة في باطن الأرض غالبا ما تنتشر إلى مناطق أقل نفاذية علما بأن المياه التي يتم ضخها باستخدام هذا النظام تكون من المناطق عالية النفاذية .

III) مقدرة نظام الضخ والمعالجة محدد بذائبية الملوثات فى الماء ولقد قدر زمن إزالة كلوروإيثان من الماء الجوفي الملوث بحوالي 1000 عام .

٢) نظم العزل Containment Systems

كما سبق وأشرنا قد يكون في بعض الأحوال نظام الضخ والمعالجة غير كاف للمعالجة الكلية وخاصة في المواقع التي يكون من الصعب فيها تحديد مصدر التلوث وإزالته وفى هذه الحالة فإن الحل يكمن في العزل الفيزيائي وذلك على المدى الطويل والغرض من العزل هو الحد من انتشار المياه الجوفية الملوثة ويتم تنفيذ ذلك عن طريق ضخ المياه الجوفية وحقن الماء

الجوفي أو إقامة حائط عازل ويتم تنفيذ العزل خلال ضخ الماء الجوفي وذلك بإقامة بئر أو أكثر وضخ المياه بدرجة كافية للتخلص من الملوثات . وبوجه عام فإن المياه التى يتم ضخها تعالج قبل استخدامها وقد يعاد حقنها ثانية فى طبقات المياه الجوفية . أيضا يمكن تنفيذ العزل عن طريق جدارن عازلة مصنعه من مواد بطيئة النفاذية للحد من تدفق المياه الجوفية . وهذه الطريقة شائعة ويتم استخدامها مع طريقة الضخ والمعالجة .

أيضاً إحدى طرق العزل تدعى grouting وهى عملية يتم فيها حقن التربة بمستحلب أو سائل تحت ضغط وينتج عن ذلك سريان السائل وملأه فراغات التربة وبعد وقت قصير يتصلب السائل ويتحول إلى عازل منخفض النفاذية .

٣) نظام استعادة النواتج الحرة Free Product Recovery

عندما تتسرب الملوثات إلى التربة فإنها تنقسم إلى الصورة الغازية والصورة المد مصه على التربة والصورة الذائبة في الماء الجوفي والصورة الحرة أو السائلة . ويطلق على تلوث الصورة السائلة بالناتج الحر free product ويتميز بالقدرة على تشبيع التربة لدرجة تجميعها في الماء الأرضي وبالتالي سريانها إلى الآبار . وعندما تكون الصورة الحرة غير ذائبة فى الماء فيطلق عليها اسم (الصورة السائلة غير المائية NAPL, non-aqueous phase liquid) . وهذه الصورة تتكون من جزء أقل كثافة من الماء فيطفو وجزء أكثر كثافة من الماء (يغرق) وتعتبر النواتج الحرة مصدر دائم للتلوث ولذلك يجرى استعادتها والتخلص منها عن طريق آبار الاستعاضة وهذه الآبار تشمل مرشحات فصل ، مضخات نظام الاستخلاص المزدوج .

٤) نظام استخلاص غازات التربة

عند تسرب الملوثات العضوية تحت سطح التربة تتوزع على ٤ صور :

١- صورة مدمصة على سطح التربة. ٢- صورة سائلة .

٣- صورة غازية . ٤- صورة حرة .

طريقة استخلاص غازات التربة هي طريقة فيزيائية للتخلص من المركبات المتطايرة وهذه التقنية تعمل على التخلص من الصور المد مصه والغازية والحرة الموجودة فى الجزء غير المشبع تحت سطح التربة .

ويتكون نظام استخلاص غازات التربة من أكثر من بئر لاستخلاص الغازات يرتبطان ببعضهم ويمكن وضع هذه الآبار أفقيا أو رأسيا تبعا لعمق الماء الجوفي ويتصل بالنظام مضخة يسبقها مرشح وذلك لمنع الرطوبة والحبيبات من الدخول إلى النظام .

III- تقنيات معالجة الماء الجوفي

يجب معالجة الماء الجوفي الملوث بعد ضخه وقبل إعادة استخدامه أو حتى التخلص منه في المياه السطحية أو إعادة حقنة في المياه الجوفية . ويوجد العديد من الطرق لإزالة الملوثات (جدول5-2) . وتتوقف التقنية المستخدمة على نوع الملوث وتركيزه والاقتصاديات المتوفرة . وكل تقنية من هذه التقنيات لها مميزات وعيوب ولذلك يمكن استخدام تقنيتين في نفس الوقت للحصول على نتائج أفضل .

١- معالجة كيميائية

بوجه عام فإن المعالجة الكيميائية تعمل على تغيير تركيب الملوثات بحيث تصبح أقل خطراً . فعند استخدام التفاعلات الكيميائية يكون الهدف الأساسي هو

تغير أو ترسيب أو استخلاص أو إذابة الملوثات أو جعلها أقل سمية مع الأخذ في الاعتبار ما يلي :

أ – استخدام المعالجة الكيماوية يتوقف على موقع التلوث وخواص الملوثات لذلك يجب دراسة هيدرولوجيا وجيولوجيا الموقع قبل اختبار نوع المعالجة.

ب– العديد من المعالجات الكيميائية تتطلب استخدام سوائل تحت سطح التربة ولذلك يجب تجنب هجرة المواد المستخدمة فى المعالجة حيث أن هذه المواد قد تكون سامة .

جدول (5-2): تقنيات معالجة المياه الجوفية الملوثة

الطـــريقة	كيفيـــة المعالجة
طرق المعالجة الفيزيائية والكيميائية فى الموقع	
– حقن الهواء	يتم حقن الهواء فى المناطق المشبعة لإزالة الملوثات عن طريق التطاير .
– الآبار الموجهه Directional wells	تستخدم تقنية الحفر لوضع الآبار أفقياً أو بزاوية حتى يمكن الوصول إلى المياه الجوفية التي لا يمكن الوصول إليها عن طريق الآبار الرأسية .
– الاستخلاص المزدوج	نظام سحب عالي يستخدم لسحب كل من الغازات والسوائل من التكوينات قليلة النفاذية .
– الغسيل بالبخار	يدفع البخار إلى الطبقات الحاملة للماء من خلال آبار الحقن لتبخير الملوثات المتطايرة وشبة المتطايرة التي يرتفع إلى المنطقة غير المشبعة ثم يتم إزالتها عن طريق الاستخلاص.
– الحوائط المتفاعلة Passive reactive walls	يتم استخدام حواجز تسمح بمرور الماء وتمنع حركة الملوثات وذلك عن طريق استخدام مواد مخلبية أو مواد ماصة .
– عمليات حيوية Co-metabolic processes	وهى تقنية جديدة يتم فيها حقن الماء الذي يحتوى على ميثان ذائب وأكسجين إلى الماء الجوفي وذلك لإسراع التحلل البيولوجى .

– المعالجة البيولوجية اللاهوائية Anaerobic biotreatment	وفيها يتم تدوير النترات خلال الماء الجوفي حيث تعمل كمستقبل للإلكترونات الضرورية للأكسدة البيولوجية للملوثات العضوية بواسطة الميكروبات .
– عكس التأزت البيولوجي	إضافة الكائنات الحية الدقيقة للمياه التى تحتوى على نترات مع إضافة مصدر للكربون (ميثانول – حمض خليك) في ظروف لاهوائية فيحدث تحول للنترات إلى الصورة الغازية غير الضارة .
– حقن الأكسجين	يتم حقن الهواء تحت ضغط أسفل مستوى الماء الأرضي وذلك لزيادة تركيز الأكسجين في الماء الأرضي الضروري لتحلل الملوثات العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة .
– الحقن بفوق أكسيد الهيدروجين	يتم حقن محلول مخفف من بروكسيد الهيدروجين وذلك لزيادة تركيز الأكسجين فى الماء الجوفي للإسراع من معدل تحلل الملوثات العضوية بيولوجيا .
طرق المعالجة الفيزيائية والكيميائية فى الموقع وخارج الموقع	
– Air Stripping	يتم تجزئة المواد العضوية المتطايرة من الماء الجوفي وذلك بزيادة مساحة المسطح النوعي للماء الملوث والمعرض للهواء .
– الترشيح	يعمل الترشيح على عزل الحبيبات الصلبة وذلك عن طريق سريان السوائل خلال الوسط المسامي والقوة المؤثرة في هذه الحالة تكون إما قوة الجاذبية أو الضغط على وسط الترشيح .
– التبادل الأيونى	التبادل الأيونى يزيل الأيونات من الصورة السائلة وذلك عن طريق التبادل الأيونى مع الأيونات الملوثة على سطح التبادل .
– الادمصاص على حبيبات الكربون المنشط	يتم ضخ الماء الجوفى خلال سلسلة من الأعمدة التي تحتوى على كربون منشط الذى بدورة يدمص الملوثات العضوية الذائبة .

- الترسيب	هذه العملية تعمل على تحويل الملوثات الذائبة إلى مركبات صلبة غير ذائبة حتى يسهل بعد ذلك إزالتها بالترسيب أو الترشيح ويتم ذلك عن طريق ضبط درجة الحموضة أو إضافة مواد كيميائية .
- استخدام المواد النشطة سطحياً Surfactant Flushing	استخدام المواد المنشطة سطحياً يعمل على زيادة ذائبية وحركة الملوثات فى الماء وبالتالى يسهل العمل على تحليلها بيولوجيا أو استخراجها ومعالجتها باستخدام طريقة الضخ والمعالجة .
- الأكسدة بالأشعة فوق البنفسجيه	الاشعة فوق البنفسجيه والأزوون وبيروكسيد الهيدروجين يمكن استخدامها لتدمير الملوثات العضوية .
المعالجة البيولوجية فى الموقع أو خارج الموقع	
- التفاعلات البيولوجية	يتم وضع الملوثات الموجودة فى المياه الجوفية المستخلصة فى تفاعلات بيولوجية وذلك لإتاحة الفرص للكائنات الحية الدقيقة للعمل على تحلل هذه الملوثات . وفى النظم التى تحتوى على معلقات مثل الحمأة المنشطة يتم تدوير المياه الجوفية الملوثة فى أحواض مهواه .
معالجات أخرى	
- معالجة طبيعية	وفيها تقوم العمليات الطبيعية تحت سطح التربة مثل التخفيف والتطاير - التحلل البيولوجى - الادمصاص - والتفاعلات الكيميائية مع المواد تحت السطحية بخفض تركيز الملوثات إلى حدود معقولة .

ج- المعالجة الكيميلئية يمكن استخدامها فى حالة الملوثات العضوية وغير العضوية حتى لا يحدث تفاعل للمواد الكيميائية المستخدمة فى المعالجة مع الملوثات وتنتج مركبات أشد خطراً .

٢- المعالجة الفيزيائية

الهدف الأساسي من المعالجة الفيزيائية هو تطويع الخواص الفيزيائية للملوثات من أجل جعل هذه الملوثات اقل خطراً وسمية وقد تقوم بعض هذه التقنيات إلى استخدام قوة فيزيائية لفصل الملوثات من الوسط التي توجد فيه . وغالبا ما ينتج عن المعالجات الفيزيائية متبقيات تتطلب معالجات أخرى متقدمة قبل التخلص منها بأمان في البيئية .

٣- المعالجة البيولوجية

المعالجة البيولوجية هي عملية تستخدم فيها الكائنات الحية الدقيقة الطبيعية للتحلل وتدمير الملوثات العضوية حيث تستخدم الكائنات الحية الدقيقة هذه الملوثات كمصدر للطاقة والكربون . وبالطبع هذه المعالجة تنحصر فقط في الملوثات العضوية مما يجعلها محدودة التطبيق .

جميع الكائنات الحية تحتاج مصدر للطاقة والكربون لاستكمال دورة حياتها . كثير من الكائنات ذاتية التغذية تحصل على الكربون من المركبات غير العضوية (ثاني أكسيد الكربون) بينما تحصل الكائنات غير ذاتية التغذية على الكربون من المركبات العضوية . وعموما فإن الكائنات الحية الدقيقة تستخدم عمليات التمثيل الغذائي تحت الظروف الهوائية واللاهوائية لتحلل الملوثات العضوية . فخلال عملية التنفس الهوائي يستخدم الكائن الحي الأكسجين لتكسير المركبات العضوية المعقدة إلى أملاح بسيطة غير عضوية ، ثاني أكسيد الكربون وماء . وهذه الكائنات الحية الدقيقة تحتاج إلى مستقبل للألكترونات (الأكسجين في الظروف الهوائية) وعناصر غذائية مثل النيتروجين والفوسفور والعناصر الصغرى الأخرى. والبكتريا الهوائية الشائعة هي arthrobacter, pseudomonas Flavobacterium . وتحتاج العديد من

الكائنات الحية الدقيقة ظروف مختلفة من أجل أن تنمو نموا مثالياً ومثال ذلك البكتريا اللاهوائية التي تستخدم النيتروجين كمستقبل للإلكترونات لكي تقوم بتكسير الملوثات العضوية المعقدة إلى أملاح بسيطة غير عضوية .

٤- المعالجات الفيزيائية والكيميائية في موقع التلوث

الحواجز المتفاعلة reactive walls وهى فى أبسط صورها عبارة عن حفر قناة ضيقة طويلة trench يمر الماء الجوفى خلالها ويتم ملأ هذه القناه بالمادة المتفاعلة مثل الحديد المحبب وعند مرور المياه الجوفية خلال هذا الحاجز فإن الملوثات مثل المواد العضوية المكلورة تتفاعل مع المادة المتفاعلة وتتحل إلى مواد عضوية غير هالوجينية غير سامة وكلور غير عضوي . والميزة الرئيسية لهذا النظام هى عدم الحاجة إلى إقامة بناء فوق سطح الأرض أو ضخ للمياه إلى أعلى وبذلك يتم معالجة المياه وهى فى مكانها . ومن المواد المتفاعلة شائعة الاستخدام هي zero valent metals وعلى الأخص الحديد المحبب granular iron الذي يعتبر المادة المتفاعلة الوحيدة التي تم استخدامها تطبيقيا . ويمكن استخدام الحواجز المتفاعلة لعلاج الماء الجوفي الملوث بالمركبات العضوية المكلورة (مذيبات – مبيدات – PCBS) .

٥- المعالجة البيولوجية فى موقع التلوث

<u>المعالجة البيولوجية غير الهوائية</u>

توفر المعالجة البيولوجية المقدرة على تدمير وتحويل المركبات العضوية السامة إلى مركبات غير سامة باستخدام النشاط البيولوجي الطبيعي . وتتميز المعالجة البيولوجية برخص تكلفتها واحتياجها إلى تقنيات غير معقدة ومقبولة للعامة ويمكن إجراءها فى موقع التلوث وإن كانت المعالجة البيولوجية تتطلب خبرة عالية لتصميم ومتابعة برنامج المعالجة الذي غالبا ما يتطلب تقييم مدى ملائمة الموقع والظروف البيئية للوصول إلى نتائج جيدة .

المعالجة البيولوجية فى الموقع تستخدم الكائنات الحية الدقيقة لإزالة المركبات العضوية مثل الهيدروكربونات البترولية فى الماء من خلال عمليات التمثيل الغذائى والتحلل . ويفضل استخدام الميكروفلورا المتواجدة فى الموقع نفسه وتنشيط القدرة التحلليه لهذه الكائنات الدقيقة عن طريق إمدادها بالمغذيات والظروف الملائمة لنشاطها . وخلال عملية المعالجة فإن الكائنات الدقيقة قد تستخدم الملوثات كمصدر للطاقة أو الغذاء أو قد تقوم بتحللها .

والمحدد الرئيس لهذه التقنية هو صعوبة تصميم ومتابعة نظام معالجة فعال تحت سطح التربة وخاصة للوسط غير المتجانس . وأيضا يوجد عدة عوامل فنية تمنع انتشار هذه التقنية لمعالجة الملوثات العضوية وغير العضوية تحت سطح التربة مثل نظام إضافة المغذيات للكائنات الدقيقة والملوثات وطريقة خلط الكائنات الدقيقة مع الملوثات والتحكم في نمو الميكروبات .

٦- المعالجة الكيميائية والفيزيائية داخل وخارج الموقع

أبراج الهواء Air stripping

a) حقن الهواء

هى تقنية كاملة يتم بواسطتها تجزئة المواد العضوية المتطايرة من الماء الجوفى وذلك بتعريض مساحة سطح كبيرة من المياه الملوثة إلى تدفق هواء نظيف وينتج عن ذلك نقل الملوثات المتطايرة من الماء إلى الهواء . أى أن هذه التقنية تعمل على فصل المركبات العضوية المتطايرة من الماء ولا تصلح للملوثات غير العضوية ويستخدم ثوابت قانون هنري لتحديد الملوثات التي يمكن التعامل معها بواسطة هذه التقنية . وبوجه عام فإن تقنية حقن الهواء تصلح للمركبات العضوية التي لها ثوابت أكبر من 0.01 جو (m^3/mol) والمركبات التى تم فيها استخدام هذه التقنية بنجاح تشمل الهيدروكربونات

الأليفانية الهاللوجينية ، كلورو إيثان ، ثانى كلورو إيثان (DCE) ثلاثى كلوروأيثان TCE ، خماسى كلورو إيثان (PCE) .

b) الإدمصاص بواسطة الكربون المنشط المحبب

وهذه التقنية يتم فيها ضخ الماء الجوفى خلال سلسلة من الأوعية التى تحتوى على كربون منشط حيث يعمل الكربون على إدمصاص الملوثات الذائبة فى الماء . وعندما يصل تركيز الملوثات إلى حد معين على الكربون يمكن تنشيط هذا الكربون ثانية أو إحلال كربون آخر مكانه . وعادة ما يستخدم هذا الكربون مع المركبات العضوية المتطايرة والمتفجرات . وتعتبر حبيبات الكربون المنشط فعالة فى إزالة الملوثات عند تركيزات منخفضة (أقل من 10 mg/l) فى الماء عند أى معدل تدفق كما يمكن إزالة تركيزات أكبر عند معدلات تدفق منخفضة (2-4 liters/minute) .

٧- المعالجة البيولوجية فى موقع التلوث وبعيداً عن موقع التلوث

١) المفاعلات البيولوجية Bioreactors

يوجد العديد من أنواع المفاعلات البيولوجية التى يمكن استخدامها فى موقع التلوث أو بعيداً عن موقع التلوث وتشمل أنواع صغيرة محمولة ($1-5m^3$) تبنى فى مواقع التلوث . فعند تلوث الماء الجوفي يجرى المعالجة عن طريق ضخ الماء إلى السطح ومعالجته فى المفاعل تحت ظروف يتم التحكم فيها ثم بعد ذلك يتم إرجاع الماء المعالج (التنظيف) ثانية إلى البئر أو التخلص منه فى المياه السطحية أو الصرف . وتستخدم المفاعلات البيولوجية لخفض تركيز النترات فى مياه الشرب أو للتخلص من الهيدروكربونات فى المياه الجوفية المستخلصة .

والأساس فى المفاعلات الحيوية المختزلة للنترات هو إضافة مصدر كربون (ميثانول – غاز البيوتان) الذى يعمل على إستهلاك الأكسجين الذائب

وعندما يصبح الماء خالى من الأكسجين وتتزايد تركيزات النترات والكربون العضوى تتحول بعض البكتريا من إعتمادها على الأكسجين فى عملية التنفس إلى أعتمادها على النترات وبالتالى يتحول الكربون إلى مصدر لبناء خلايا الكائنات الحية الدقيقة ، CO_2 بينما يتحول النترات إلى مركبات نتروجينية غازية (NO , N_2O , N_2) . وتستخدم المفاعلات البيولوجية أساسا لمعالجة المركبات العضوية المتطايرة غير الهالوجينية بما فى ذلك البترول ووقود الديزل والمحروقات الثقيلة والمبيدات .

٨- تكاليف المعالجة

تختلف تكلفة التقنيات المستخدمة فى المعالجة إختلافاً كبيراً فيما بينها وأيضاً فى مواقع التلوث المختلفة نتيجة لإختلاف صفات المواقع وظروف التلوث ونوع الملوثات . والجدول التالى (رقم 5-3) يعطى فكرة عن التكاليف فى بعض المواقع التى عولجت فى الولايات المتحدة الأمريكية مع الأخذ فى الاعتبار عدم إمكانية تعميم ذلك .

جدول (5-3): أمثلة تكاليف تقنيات المعالجة

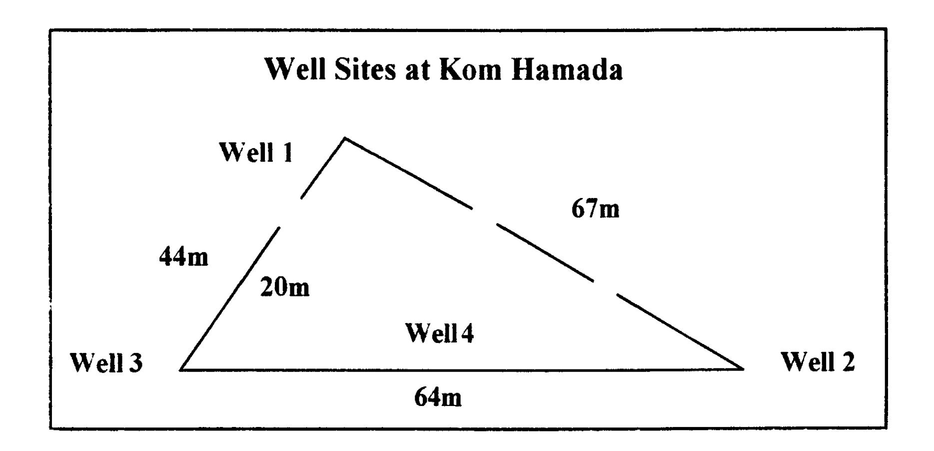
التقنية	الملوثات	التكاليف US $ (المعدات-الخبرة-العمالة-التصميم)
- استخلاص المتطايرات فى التربة .	- المركبات العضوية المتطايرة	4.3 مليون
- حقن الهواء .	- المركبات العضوية المتطايرة	265.000
- حقن الهواء فى الموقع مع آبار أفيقية .	- المركبات العضوية المتطايرة	350.000
- الحواجز المتفاعلة .	- الكروم II	350.000
- الترشيح .	- عناصر ثقيلة - فينولات	200.000-1.200.000/yr
- الضخ والمعالجة مع استخدام الكربون المنشط .	- مركبات عضوية متطايرة	1 مليون
- الضخ والمعالجة مع استخدام الأكسدة .	- مركبات عضوية متطايرة - فيولات مكلوره	1.7 مليون
- معالجة التربة بالإضافة إلى إستخدام تقنية الضخ والمعالجة .	-الفينولات المكلوره	11.9 مليون

دراسة حاله

إزالة المنجنيز من الماء الجوفي في محافظة البحيرة – جمهورية مصر العربية

إن المياه الجوفية المستخلصة من الطبقات الحاملة للماء فى دلتا النيل تحتوى بوجة عام على حديد (Fe^{2+}) ومنجنيز (Mn^{2+}) . ففي منطقتي كوم حمادة وإتياى البارود بمحافظة البحيرة نجد أن تركيز كلا من الحديد والمنجنيز هو 0.41 ، 1.1 مجم/لتر على التوالي. وعند استخدام نظام الكلورة بدءاً من عام 1990 بدأت تظهر بعض المشاكل نتيجة ترسب أكاسيد المنجنيز فى نظم التوزيع ولمعالجة ذلك تم وضع برنامج لغسيل النظام مرتين كل شهر فى الصيف ومرة كل شهر بقية العام وذلك لضمان اقل تركيز ممكن من الكلور فى مياه الشرب .

أظهرت الدراسات أن من الممكن التخلص من المنجنيز والحديد فى المياه الجوفية فى الموقع نفسه تحت سطح التربة عن طريق استخدام العمليات الطبيعية ولقد جرى إختبار ذلك فى أحد المواقع فى كوم حمادة وعندما تم التأكد من نجاحه . جرى تعميمه فى بقية المواقع . ومركز المعالجة فى كوم حمادة يقع على بعد 35 كيلو متر جنوب شرق دمنهور ويحتوى الموقع على أربع آبار انتاج كما هو موضح فى الشكل التالى :



شكل (5-1): مواقع الآبار فى كوم حمادة

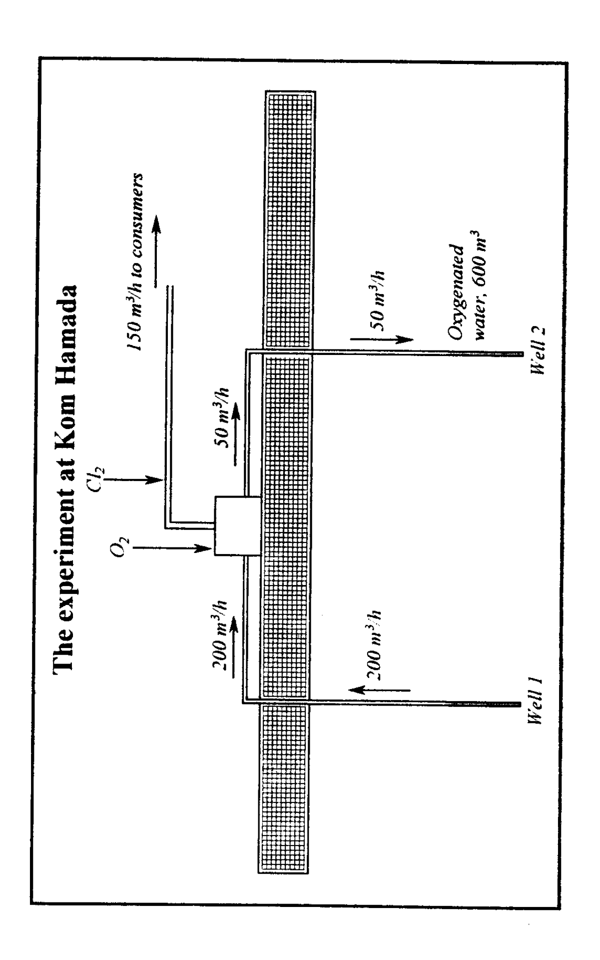
تم حفر البئران رقم 1 ، 2 فى عام 1987 على عمق 50 متر بينما البئران 3 ، 4 فتاريخ الحفر يرجع إلى عام 1958 على عمق 55 متر . تصل هذه الآبار إلى الطبقات الحاملة للماء فى دلتا النيل aquifer والتى يصل عمقها إلى 350 متر تحت سطح البحر . وتتكون الطبقات الحاملة للماء من حصى ورمل وطبقات من الطين مختلفة التركيب وتغطى هذه الطبقات بطبقة سطحية تتكون من طين وطمى ورمل بسمك قدرة 6 متر عند منطقة كوم حمادة ويوضح الجدول رقم (5-4) التحليل الكيماوى للمياه الجوفية الموجودة فى هذه المنطقة .

جدول رقم (5-4): التحليل الكيماوى للمياه الجوفية

pH	TDS	EC	Mg	Ca	Mn	Fe	SO_4	Cl	CO_2	NH_4	اسم البئر
mg/l											
7.53	406	609	20	48	0.46	0.02	37	87	18	0.34	زاوية مصلح
7.49	486	725	18.5	42	0.92	0.1	47	62	15	0.26	انيوقا
7.36	728	1088	36.5	295	0.36	0.1	60	82	22	0.19	الطود 2
7.34	453	678	-	36	0.73	0.12	108	67	17	0.25	الطود 1
7.37	340	510	17	325	0.25	0.66	60	37	17	0.17	كوم زياد 1
7.34	361	540	7.5	48	0.25	1.3	25	27	17	0.23	كوم زياد 2

فى أغلب تحليلات المياه الجوفية فى العالم يكون تركيز الحديد أعلى من المنجنيز ولكن فى هذا الدراسة العكس كان صحيحاً وفى موقع التجربة تم أكسدة كاتيونى الحديد والمنجنيز تحت سطح التربة عن طريق حقن حجم ثابت من الماء الغنى بالأكسجين إلى البئر ثم استخلاص وضخ المياه من نفس البئر حتى يصل تركيز المنجنيز والحديد إلى الحدود الطبيعية والشكل التالى هو رسم تخطيطى يوضح خطوات عمل التجربة التى تمت فى كوم حمادة .

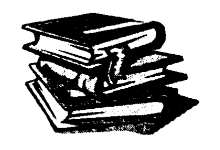
ولقد بدأت التجربة فى يناير 2000 باستخدام ماء مع أكسجين من البئر رقم 1 والذى يحتوى على تركيزات منجنيز بين 0.7-1.0 mg/l وإجراء عدة دورات من الحقن والاستخلاص وتتكون الدورة من عملية حقن يتبعها استخلاص تتخللها فترة راحه عدة ساعات بين العمليتين وكان مجموع الدورات 13 دورة . وفى نهاية الدورات إنخفض تركيز المنجنيز إلى 0.01 mg/l فى مياه البئر .



The experiment at Kom Hamada
$150\ m^3/h$ to consumers
Cl_2
O_2
$200\ m^3/h$
$50\ m^3/h$
$200\ m^3/h$
$50\ m^3/h$
Oxygenated water, $600\ m^3$
Well 1
Well 2

شكل (2-5)





المراجـــــع

1- Abdulrahman, 2000. Groundwater Pollution by Irrigated Agriculture: A Case Study. A paper submitted to the EGM on Implications of Groundwater Rehabilitation for Water Resources Protection and Conservation (Beirut, 14-17 November 2000) (E/ESCWA/ENR/2000/WG.3/13).

2- Al-Zubari, 2000. Guidelines for Groundwater Protection and Pollution Control in the GCC Countries". A paper submitted to the EGM on Implications of Groundwater Rehabilitation for Water Resources Protection and Conservation (Beirut, 14-17 November 2000) (E/ESCWA/ENR/2000/WG.3/12).

3- American Chemical Society 1983. ground water information Pomphlet. American chemical Soc. Dept. of Public Affairs Washingtion.

4- American Institute of Professional geologist 1986. ground water: Issues and Answers. American institute of professional geologists: Arvado, Colo., 24 pp.

5- Bowen, Robert 1986. Groundwater Elsevier Applied science publishers: London, U.K., 427 pp.

6- Cherry, john A. 1987. "Groundwater Occurrence and Contamination in Canada." In M.C. healey and R.R. Wallace, Canadian Aquatic Resources, eds., Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences 215: 387-426. Department of Fisheries and Oceans: Ottawa.

7- Coon, David, and Janice Harvey, 1987. The groundwater pollution primer. Conservation council, Fredericton, N.B., July 44pp.

8- Darwish, M., Khawli M., Jomaa A., Chehny R., 2000. Water and soil vulnerability to Contamination in Central Beqa'a Plain-Lebanon. A paper submitted to the EGM on Implications of Groundwater Rehabilitation for Water Source Protection and Conservation (Beirut, 14-17 November 2000) (E/ESCWA/ENR/2000/WG.3/8).

9- ESCWA, 1997. Report of the Expert Group Meeting on Development of Non-Conventional Water Resources and Appropriate Technologies for Groundwater Management in the ESCWA Member States (Bahrain, October 1997) (E/ESCWA/ENR/1997/8).

10- Federal-Provincial Advisory Committee On Environmental and Occupational Health 1989. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality, 4th ed., Health and Welfare Canada: Ottawa, 25 pp.

11- Freeze, R. Allen, and John A. cherry 1979. Groundwater. Prentice-hall: Englewood Cliffs N.J., 604 pp.

12- Hess, Paul J. 1981. Ground-Water Use in Canada, 1981. National hydrology research institute: Ottawa, 1986. NHRI Paper No. 28, IWD Technical bulletin No. 140. 43pp.

13- Johnston, L.M., and J.A. Gilliland 1987. "Ground Water-Why Worry?" Unpublished Report, National Hydrology Research Institute, Saskatoon, Sask., NHRI Contribution No. 87008.

14- Jurdi, 2000. Groundwater Pollution: Environmental health Impacts. A paper submitted to the Expert Group Meeting on Implications of Groundwater Rehabilitation for Water Resources Protection and Conservation (Beirut, 14-17 November 2000) (E/ESCWA/ENR/2000/WG.3 4).

15- Keating, Michael 1986. To the Last Drop: Canada and the World's Water Crisis. Mac Millan: Toronto, 265pp.

16- Laycock, A.H. 1987. "The Amount of Canadiam Water and Its Distribution." In M.C. Healey and R.R. Wallace, Canadian Aquatic Resources, eds., Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences 215: 13-42. Department of Fisheries and Oceans: Ottawa,.

17- McNeely, R.N., V.P. Neimanis, and L. Dwyer. Water Quality Sourcebook: A Guide to Water Quality Parameters 1979. Inland Waters Directorate, Water Quality Branch: Ottawa, 89pp.

18- Price, Michael 1985. Introducing Groundwater. George Allen & Unwin: London, U.K., 195pp.

19- Speidel, David H., L.C. Ruedisili, and A.F. Agnew 1988. Perspectives on Water, Uses and Abuses. Oxford University Press: New York, N.Y., 1988.

20- Todd, David Keith 1980. Groundwater Hydrology. 2nd ed. John Wiley & Sons: New York, 535pp.

21- U.S. Environmental Protection Agency 1989. EPA Ground Water Handbook. Government institutes, Inc.: Rockville, Md., 212pp.

22- Warda, H. et al., 2000. Burman, Underground Removal of Manganese from Groundwater in Beheira Governorate, Egypt. A paper submitted to the Expert Group Meeting on Implications of Groundwater Rehabilitaion for Water Resources Protection and Conservation (Beirut, 14-17 November 2000) (E/ESCWA/ENR/2000/WG.3/17).

Internet Sites:

1- http://www.fao.org/: United Nations Food and Agriculture Organization.
2- http://www.gnet.org/; The Global Network of Environment & Technology.
3- http://www.gwrtac.org/: The Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center.
4- http://www.rtdf.org/: The Remediaition Technologies Development Forum.
5- http://www.unep.ch/: United nations Environment Programme.
6- http://www.who.org/: World Health Organization.
7- http://worldwatercouncil.org/: Worlb Water Council.
8- http://www.wria.org/: Western risk and Insurance Association.

